



**TUGAS AKHIR (MO141326)**

**STUDI PARAMETRIK *STRESS INTENSITY FACTOR*  
(SIF) PADA *MULTIPLANAR TUBULAR JOINT*  
BERBASIS *FRACTURE MECHANICS***

**ARVINA PUSPANINGTYAS**

**NRP. 4311 100 071**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Dr. Eng. Rudi W. Prastianto, S.T., M.T.**

**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2016**



FINAL PROJECT (MO141326)

# PARAMETRIC STUDY OF STRESS INTENSITY FACTOR (SIF) IN MULTIPLANAR TUBULAR JOINT BASED ON FRACTURE MECHANICS

ARVINA PUSPANINGTYAS

NRP. 4311 100 071

SUPERVISOR

Dr. Eng. Rudi W. Prastianto, S.T., M.T.

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

**STUDI PARAMETRIK *STRESS INTENSITY FACTOR* (SIF)  
PADA *MULTIPLANAR TUBULAR JOINT* BERBASIS *FRACTURE*  
*MECHANICS***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**ARVINA PUSPANINGTYAS**

NRP. 4311 100 071

Disetujui oleh :

1. Dr. Eng. Rudi W. Prastianto, S.T, M.T (Pembimbing 1)

2. Nur Syahrani, S.T (M.T., Ph.D.) (Pembimbing 2)

3. Ir. Murdjito, M.Sc. (Penguji 1)

4. Prof. Ir. Mukhtasor , M.Eng., Ph.D. (Penguji 2)

5. Herman Pratikno, S.T., M.T. Ph.D. (Penguji 3)

Surabaya, Januari 2016

**STUDI PARAMETRIK *STRESS INTENSITY FACTOR* (SIF)  
PADA *MULTIPLANAR TUBULAR JOINT* BERBASIS *FRACTURE  
MECHANICS***

**Nama Mahasiswa : Arvina Puspaningtyas**  
**NRP : 4311 100 071**  
**Jurusan : Teknik Kelautan**  
**Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T, M.T**  
**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D**

**ABSTRAK**

Struktur *jacket platform* sebagai salah satu contoh *fixed platform* yang paling banyak digunakan untuk eksplorasi minyak dan gas bumi di perairan dangkal merupakan suatu sistem yang terdiri dari banyak elemen *chord* dan *brace* berupa silinder yang membentuk *tubular joint*. Pada fase operasional, struktur lepas pantai memiliki resiko kegagalan yang salah satunya diakibatkan oleh kelelahan (*fatigue*). *Fatigue* umumnya terjadi pada sambungan las sebagai daerah diskontinuitas yang rentan terhadap cacat dan keretakan akibat adanya konsentrasi tegangan. Pendekatan *fracture mechanics* dapat digunakan untuk menganalisa perilaku retak (*crack*) yang terjadi di daerah perpotongan antara *chord* dan *brace* pada *tubular joint* (Murthy et al, 1993). *Stress intensity factor* (SIF) merupakan parameter desain untuk menentukan sifat dan proses kepecahan yang dapat digunakan untuk menentukan umur sisa dari struktur. Studi ini dilakukan dengan membandingkan nilai SIF dari beberapa model yang telah divariasikan pembebanan dan geometri *crack*-nya. Pada suatu geometri struktur *tubular joint* yang sama, faktor pembebanan dan geometri *crack* sangat mempengaruhi nilai SIF. Semakin besar pembebanan dan semakin besar ukuran *crack*, maka SIF yang terbentuk semakin besar.

**Kata kunci : *crack, fracture mechanics, metode elemen hingga, multiplanar tubular joint, stress intensity factor***

# **PARAMETRIC STUDY OF STRESS INTENSITY FACTOR (SIF) IN MULTIPLANAR TUBULAR JOINT BASED ON FRACTURE MECHANICS**

**Name : Arvina Puspaningtyas**  
**Reg. Number : 4311 100 071**  
**Department : Ocean Engineering**  
**Supervisors : Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T, M.T**  
**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D**

## **ABSTRACT**

Jacket platform structure as one of fixed platform most commonly used for oil and natural gas exploration in shallow waters is a system that consist of many elements of chord and brace cylinder forming tubular joint. In the operational phase, offshore structure have the risk of failure which caused by fatigue. Fatigue commonly occurs in welded joints as a discontinuity areas that are prone to defects and cracks due to stress concentration. Fracture mechanics approach can be used to analyze the behavior of crack that occurred in the area of intersection between the chord and brace on tubular joint (Murthy et al, 1993). Stress intensity factor (SIF) is a design parameter for determining the character and process of breakage that can be used to determine the remaining life of the structure. This study was conducted by comparing the value of SIF of several models that have varied the loading and crack geometry. On a tubular joint structure geometry, loading factors and crack geometry greatly affect the value of the SIF. The larger the load and the larger the size of the crack, then SIF which formed greater.

**Keywords : crack, finite element method, fracture mechanics, multiplanar tubular joint, stress intensity factor**

## KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul "*Studi Parametrik Stress Intensity Factor (SIF) pada Multiplanar Tubular Joint Berbasis Fracture Mechanics*" ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Tugas Akhir ini mempelajari tentang parameter yang mempengaruhi besarnya nilai *stress intensity factor* (SIF) pada suatu *Multiplanar tubular joint* yang merupakan bagian dari kaki *Braced Caisson Well Platform*.

Penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari sempurna dan tak luput dari kesalahan serta kekurangan karena keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penyusunan laporan kedepannya. Semoga laporan ini dapat menambah pengetahuan tentang dunia kelautan dan bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2015

Arvina Puspaningtyas

## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL .....   | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN .....   | iii  |
| ABSTRAK .....   | iv   |
| ABSTRACT .....  | v    |
| KATA PENGANTAR .....  | vi   |
| UCAPAN TERIMA KASIH .....   | vii  |
| DAFTAR ISI.....   | ix   |
| DAFTAR GAMBAR .....   | xi   |
| DAFTAR TABEL .....  | xii  |
| DAFTAR LAMPIRAN .....   | xiii |
| BAB I    PENDAHULUAN .....  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang Masalah .....  | 1    |
| 1.2 Perumusan Masalah .....   | 3    |
| 1.3 Tujuan.....   | 3    |
| 1.4 Manfaat .....   | 4    |
| 1.5 Batasan Masalah .....   | 4    |
| 1.6 Sistematika Laporan .....   | 4    |
| BAB II    TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....                        | 7    |
| 2.1 Tinjauan Pustaka .....  | 7    |
| 2.2 Dasar Teori .....   | 8    |
| 2.2.1 <i>Tubular Joint</i> .....  | 8    |
| 2.2.2 <i>Fracture Mechanics</i> .....                                   | 9    |
| 2.2.3 <i>Stress Intensity Factor (SIF)</i> .....                        | 11   |
| 2.2.4 Metode Elemen Hingga ( <i>Finite Element Method / FEM</i> ) ..... | 14   |
| 2.2.4.1 Elemen Shell .....  | 16   |
| 2.2.4.2 Elemen Solid .....  | 16   |
| BAB III    METODOLOGI PENELITIAN .....                                  | 17   |
| 3.1 Metode Penelitian .....   | 17   |
| 3.2 Prosedur Penelitian .....   | 18   |
| BAB IV    ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN .....                            | 27   |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.1   | Pemodelan Dasar .....                      | 27 |
| 4.2   | <i>Mesh Sensitivity</i> .....              | 29 |
| 4.3   | Pemodelan <i>Crack</i> .....               | 31 |
| 4.4   | <i>Stress Intensity Factor</i> (SIF) ..... | 33 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN .....                 | 39 |
| 5.1   | Kesimpulan .....                           | 39 |
| 5.2   | Saran .....                                | 39 |
|       | DAFTAR PUSTAKA .....                       | 41 |
|       | LAMPIRAN                                   |    |



## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1.1 Ragam Geometri <i>Tubular Joint</i> .....   | 1  |
| Gambar 2.1 Kombinasi <i>Simple Joint</i> .....   | 9  |
| Gambar 2.2 Mode Deformasi Retak .....  | 12 |
| Gambar 2.3 Sistem Koordinat dan Komponen Tegangan di Depan Ujung Retak .....                           | 13 |
| Gambar 2.4 <i>Semi-elliptical Crack</i> pada Plat .....  | 13 |
| Gambar 2.5 <i>Flaw Shape Parameter Q</i> .....   | 14 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian .....  | 17 |
| Gambar 3.2 <i>Braced Caisson Well Platform</i> .....   | 18 |
| Gambar 3.3 <i>Multiplanar Tubular Joint (KY-joint)</i> yang Dianalisa .....                            | 19 |
| Gambar 3.4 Model A - Geometri <i>Multiplanar Tubular Joint</i> .....                                   | 21 |
| Gambar 3.5 <i>Mesh</i> pada <i>Multiplanar Tubular Joint</i> .....                                     | 22 |
| Gambar 3.6 Lokasi <i>Crack</i> pada <i>Multiplanar Tubular Joint</i> – Model A.....                    | 23 |
| Gambar 3.7 Lokasi <i>Crack</i> pada <i>Multiplanar Tubular Joint</i> – Model B.....                    | 23 |
| Gambar 3.8 Lokasi <i>Crack</i> pada <i>Multiplanar Tubular Joint</i> – Model C.....                    | 24 |
| Gambar 3.9 Pemodelan <i>Crack</i> dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi <i>Crack c</i> ...           | 25 |
| Gambar 3.10 Pemodelan <i>Crack</i> dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi <i>Crack c</i> .            | 25 |
| Gambar 4.1 Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur <i>Multiplanar Tubular Joint</i> - Model A..... | 27 |
| Gambar 4.2 <i>Total Deformation</i> pada <i>Multiplanar Tubular Joint</i> - Model A .....              | 28 |
| Gambar 4.3.a Deformasi pada <i>Multiplanar Tubular Joint</i> – Model A .....                           | 28 |
| Gambar 4.3.b Deformasi pada <i>Multiplanar Tubular Joint</i> – Model B .....                           | 28 |
| Gambar 4.3.c Deformasi pada <i>Multiplanar Tubular Joint</i> – Model C .....                           | 29 |
| Gambar 4.4 <i>Mesh Contour</i> pada <i>Crack</i> .....   | 29 |
| Gambar 4.5 Detail <i>Mesh Contour</i> pada <i>Crack</i> .....  | 30 |
| Gambar 4.6 Sensitivitas <i>Meshing</i> Terhadap Nilai SIF .....  | 31 |
| Gambar 4.7 Sistem Koordinat <i>Crack</i> pada Variasi Pembebanan A .....                               | 37 |
| Gambar 4.8 Sistem Koordinat <i>Crack</i> pada Variasi Pembebanan B .....                               | 37 |
| Gambar 4.9 Sistem Koordinat <i>Crack</i> pada Variasi Pembebanan C .....                               | 37 |
| Gambar 4.10 Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi <i>Crack c</i> .....                  | 38 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 3.1 Geometri <i>Multiplanar Tubular Joint</i> .....   | 19 |
| Tabel 3.2 <i>Material Properties</i> pada <i>Multiplanar Tubular Joint</i> .....  | 19 |
| Tabel 3.3 Data Pembebanan pada Struktur <i>Multiplanar Tubular Joint</i> .....  | 20 |
| Tabel 3.4 Geometri <i>Surface Crack (Semi Elliptical)</i> - Variasi <i>c</i> .....                                      | 20 |
| Tabel 3.5 Geometri <i>Surface Crack (Semi Elliptical)</i> - Variasi <i>a</i> .....                                      | 21 |
| Tabel 3.6 Validasi <i>Nominal Stress</i> (psi) pada Struktur <i>Multiplanar Tubular Joint</i> .....                     | 23 |
| Tabel 4.1 Hasil Pemodelan Dasar <i>Multiplanar Tubular Joint</i> .....  | 29 |
| Tabel 4.2 Hasil <i>Meshing</i> Setiap <i>Mesh Contour</i> .....   | 30 |
| Tabel 4.3.a Hasil Pemodelan <i>Multiplanar Tubular Joint</i> - Variasi Pembebanan A<br>dan Variasi <i>Crack c</i> ..... | 31 |
| Tabel 4.3.b Hasil Pemodelan <i>Multiplanar Tubular Joint</i> - Variasi Pembebanan A<br>dan Variasi <i>Crack a</i> ..... | 32 |
| Tabel 4.3.c Hasil Pemodelan <i>Multiplanar Tubular Joint</i> - Variasi Pembebanan B<br>dan Variasi <i>Crack c</i> ..... | 32 |
| Tabel 4.3.d Hasil Pemodelan <i>Multiplanar Tubular Joint</i> - Variasi Pembebanan B<br>dan Variasi <i>Crack a</i> ..... | 32 |
| Tabel 4.3.e Hasil Pemodelan <i>Multiplanar Tubular Joint</i> - Variasi Pembebanan C<br>dan Variasi <i>Crack c</i> ..... | 33 |
| Tabel 4.3.f Hasil Pemodelan <i>Multiplanar Tubular Joint</i> - Variasi Pembebanan C<br>dan Variasi <i>Crack a</i> ..... | 33 |
| Tabel 4.4.a SIF – Variasi Pembebanan A dan Variasi <i>Crack c</i> .....   | 34 |
| Tabel 4.4.b SIF – Variasi Pembebanan A dan Variasi <i>Crack a</i> .....   | 34 |
| Tabel 4.4.c SIF – Variasi Pembebanan B dan Variasi <i>Crack c</i> .....   | 35 |
| Tabel 4.4.d SIF – Variasi Pembebanan B dan Variasi <i>Crack a</i> .....   | 35 |
| Tabel 4.4.e SIF – Variasi Pembebanan C dan Variasi <i>Crack c</i> .....   | 35 |
| Tabel 4.4.f SIF – Variasi Pembebanan C dan Variasi <i>Crack a</i> .....   | 36 |

## DAFTAR LAMPIRAN

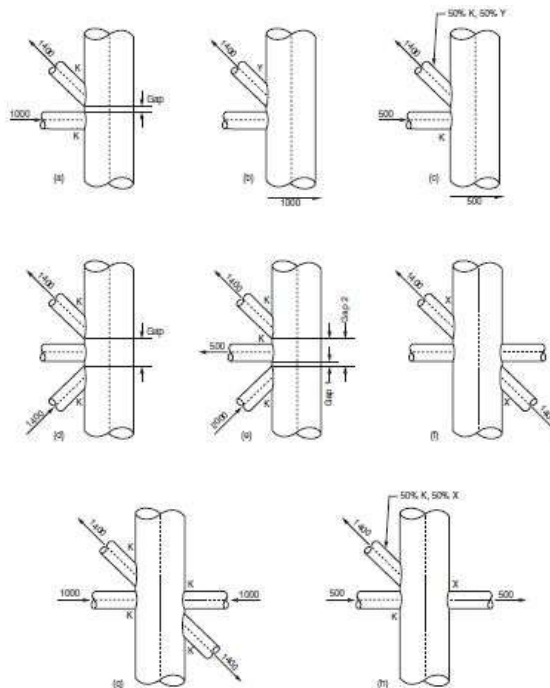
|            |   |
|------------|---|
| Lampiran A | Data Awal                                     |
| Lampiran B | Variasi Pemodelan                             |
| Lampiran C | Hasil Pemodelan Dasar                         |
| Lampiran D | Hasil Pemodelan <i>Crack</i> Variasi <i>c</i> |
| Lampiran E | Hasil Pemodelan <i>Crack</i> Variasi <i>a</i> |
| Lampiran F | <i>Mesh Sensitivity Analysis</i>              |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Struktur lepas pantai terpancang (*fixed platform*) yang paling banyak digunakan untuk eksplorasi minyak dan gas bumi di perairan dangkal adalah tipe *Jacket Platform*. *Braced Caisson* merupakan salah satu bentuk *fixed platform* yang merupakan modifikasi dari struktur *monopod* hingga menyerupai struktur *jacket-tripod platform*. Struktur *jacket* yang terdiri dari *chord* dan *brace* merupakan suatu sistem yang terdiri dari banyak elemen *space frame*. *Space frame* merupakan gabungan dari dua macam yaitu *truss framework* dan *beam* dalam koordinat global tiga dimensi. Elemen *truss* adalah elemen yang akan mengalami pembebanan dan defleksi pada arah aksial, sedangkan elemen *beam* akan mengalami pembebanan, defleksi dan momen dengan arah lateral. Elemen *chord* dan *brace* pada struktur *jacket* terdiri atas baja dengan bentuk silinder yang disebut *tubular member*. Sambungan antar *tubular member* disebut *tubular joint*. *Tubular joint* memiliki berbagai tipe seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1** Ragam Geometri *Tubular Joint* (API RP 2A)

Sebagai sarana eksplorasi minyak dan gas bumi, struktur lepas pantai haruslah memenuhi standart keamanan dan diharapkan memiliki resiko kegagalan yang paling minimal. Permasalahan yang sering timbul pada struktur lepas pantai adalah ketika fase operasional dimana struktur tak hanya menahan beban statis pada struktur itu sendiri, tetapi juga mengalami pembebanan secara berulang-ulang, serta pada kondisi badai dimana struktur akan mengalami beban ekstrim. Hal ini menyebabkan struktur mengalami kelelahan (*fatigue*) dan memiliki umur kelelahan tertentu, termasuk pada *tubular joint*. *Fatigue* umumnya terjadi pada sambungan las yang mengalami beban berulang karena daerah tersebut merupakan daerah diskontinuitas yang rentan terhadap cacat dan keretakan akibat adanya konsentrasi tegangan.

*Finite Element (FE) Method* banyak digunakan untuk menganalisis berbagai jenis retak pada sambungan *tubular*. Pada kondisi sesungguhnya, suatu anjungan lepas pantai akan terkena beban-beban aksial dan *bending* secara bersamaan sehingga menimbulkan efek pembesaran tegangan akibat interaksi keduanya, termasuk pada *tubular joint*. Jika efek dinamis diabaikan, maka dengan menggunakan FE dapat dihitung tegangan-tegangan maksimum yang terjadi pada tiap-tiap member pada struktur. Jika ukuran member ditentukan dengan cukup tepat, maka tegangan yang terjadi akan berada dalam rentang yang diijinkan sehingga dapat menghindari kegagalan.

Desain kelelahan *tubular joint* dapat menggunakan pendekatan S-N yang mana umur kelelahan didapatkan pada rentang tegangan *hot spot* yang berbeda-beda menggunakan standar kurva S-N yang direkomendasikan oleh berbagai *codes*. Pendekatan ini tidak memperhitungkan retak awal dan perambatan retak, sehingga kurang memadai untuk struktur yang telah mengalami keretakan (Murthy et al, 1993). *Fracture mechanics* merupakan pendekatan yang tepat untuk analisa perilaku retak yang umumnya terjadi di daerah perpotongan antara *chord* dan *brace* pada *tubular joint* (Murthy et al, 2004). Pada *tubular joint*, cacat awal tumbuh di bawah pengaruh beban siklik yang mana ketika retak mulai menembus ketebalan dinding tubular (*through-thickness crack*), maka *joint* tersebut mulai kehilangan *fatigue strength* (Seetharaman et al, 1993).

Faktor intensitas tegangan atau *stress intensity factor* (SIF) sering digunakan sebagai parameter desain untuk menentukan sifat dari proses kepecahan dan dapat digunakan untuk menentukan umur sisa dari struktur yang mengalami kerusakan akibat kelelahan, dalam hal ini adalah keretakan. Tak hanya masalah pembebanan, geometri dari *tubular joint* dan geometri retak pun sangat mempengaruhi nilai SIF. Karakteristik pertumbuhan retak stabil menggunakan SIF dengan berbagai *range*  $\Delta K$  memungkinkan untuk memprediksi tingkat pertumbuhan retak di bawah beban siklik hingga sebelum terjadi kegagalan struktur. Menurut Al-Mukhtar et al (2009), dalam mekanika kepecahan, kekuatan kelelahan dari sambungan las tidak mutlak tergantung pada kekuatan bahan dasar dari komponen sambungan tersebut, karena diketahui bahwa kekuatan kelelahan berkaitan erat dengan diskontinuitas geometri dari sambungan las tersebut. Dengan demikian, dalam pembentukan SIF bahkan untuk satu geometri dan satu jenis pengelasan saja diperlukan analisis rinci beberapa parameter seperti ketebalan plat, dimensi las, sistem pembebanan, atau dimensi retak.

Untuk itu, Tugas Akhir ini akan membahas tentang studi parametrik SIF pada suatu *multiplanar tubular joint* yang mengalami keretakan dengan beberapa variasi pembebanan serta ukuran keretakan, menggunakan FE yang dikombinasikan dengan *fracture mechanics* untuk menemukan solusi SIF yang sesuai.

## **1.2 Perumusan masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana nilai *stress intensity factor* pada *multiplanar tubular joint* dengan variasi panjang *crack* ( $c$ ), kedalaman *crack* ( $a$ ) dan pembebanan pada *surface crack*?
2. Kondisi seperti apa yang menyebabkan SIF paling kritis?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui bagaimana nilai *stress intensity factor* pada *multiplanar tubular joint* dengan variasi panjang *crack* (*a*), kedalaman *crack* (*c*) dan pembebanan pada *surface crack*
2. Mengetahui kondisi seperti apa yang menyebabkan SIF paling kritis

#### 1.4 Manfaat

Hasil analisa dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui parameter-parameter yang berpengaruh besar terhadap SIF dari *multiplanar tubular joint* yang mengalami keretakan sehingga didapatkan desain yang optimum.

#### 1.5 Batasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini batasan masalah dan asumsi yang digunakan antara lain:

1. Objek penelitian adalah *multiplanar tubular joint* pada kaki *Braced Caisson Well Platform*, yang mana konfigurasi strukturnya menyerupai struktur *jacket platform*
2. Pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan lokal *multiplanar tubular joint*
3. Jenis retak yang dianalisa adalah *surface crack*
4. Beban yang divariasikan pada struktur adalah *force* dan *moment*

#### 1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

##### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang Tugas Akhir yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang akan dicapai, manfaat dari penelitian, batasan-batasan masalah serta sistematika penulisan.

##### BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini mencakup tinjauan pustaka berupa penelitian-penelitian yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini, serta dasar-dasar teori yang akan digunakan.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir, data-data yang digunakan, serta pemodelan dan perhitungan yang akan dilakukan.

### **BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang hasil analisa, baik pemodelan maupun perhitungan dalam pengerjaan Tugas Akhir.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menyajikan hasil akhir dari analisa yang telah dilakukan sesuai perumusan masalah, serta saran yang dapat digunakan untuk menyempurnakan penelitian-penelitian selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Kegagalan struktur dengan modus kelelahan (*fatigue*) dapat terjadi pada struktur yang mengalami beban fluktuasi yang akan menyebabkan awal terjadinya retak hingga terus mengalami perambatan dan terjadi kegagalan. Menurut Siswosuwarno (1987), faktor-faktor yang mempengaruhi *fatigue* adalah beban (jenis beban, frekuensi, pola beban dan besar tegangan), kondisi material, proses fabrikasi, dimensi komponen, temperatur operasi, serta kondisi lingkungan.

Struktur lepas pantai pada umumnya menggunakan material baja yang disusun dalam proses fabrikasi dengan teknik pengelasan dimana hal ini merupakan salah satu penyebab terbentuknya cacat awal (*initial damage*) berupa retakan. Penggunaan *high strength material* yang memiliki kekuatan tinggi banyak dipilih untuk mengurangi berat struktur. Namun material ini memiliki ketahanan retak yang rendah sehingga menyebabkan perambatan retak dan penurunan kekuatan terjadi dengan cepat (Broek, 1987). Penentuan muatan dan tegangan pada struktur harus diperhitungkan untuk mengetahui perkiraan panjang *lifetime* struktur tersebut (Lassen dan Recho, 2006).

*Tubular joint* pada struktur lepas pantai merupakan salah satu bagian yang dominan terutama pada kaki-kaki struktur. *Tubular joint* merupakan bagian yang rentan terhadap cacat retak karena dibentuk melalui proses pengelasan antar *tubular member*. *Tubular joint* tak berpenegar memiliki konsentrasi tegangan yang besar dan distribusi tegangan yang sangat rumit dengan gradien besar. Retak kelelahan cenderung dimulai di daerah dengan konsentrasi tegangan besar seperti pada lokasi *hot spot* yaitu titik-titik tertentu sepanjang daerah perpotongan tersebut yang memiliki suatu tegangan yang besarnya beberapa kali lebih besar daripada tegangan nominal yang terjadi.

Dalam analisa umur kelelahan *tubular joint* dengan *fracture mechanics*, dibutuhkan data pembebanan *joint* dan parameter SIF yang digunakan untuk

mendapatkan proses kepecahan alami dari suatu struktur. SIF juga digunakan untuk menentukan umur kelelahan (Bowness, 1994). Wendarta (2005) telah melakukan analisa umur kelelahan tubular joint yang memiliki retak *through-thickness* pada bagian *chord*. Annastia (2005) juga melakukan analisa yang sama, namun dengan retak *semi elliptical*.

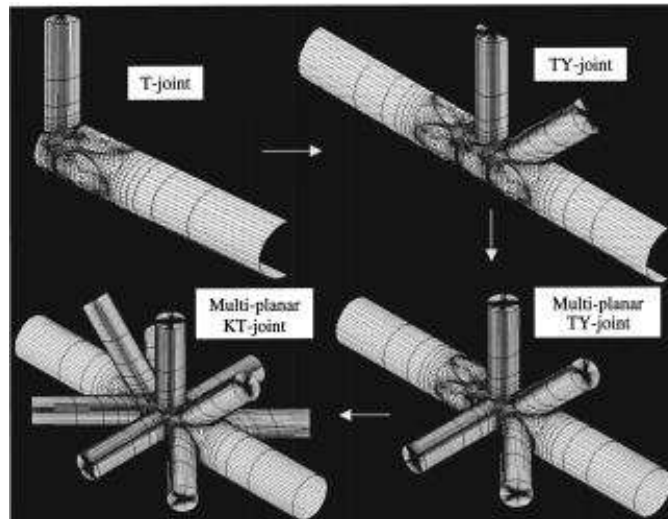
Untuk mendapatkan distribusi tegangan di sekitar *tubular joint*, perlu dilakukan analisa lokal pada *tubular joint* dengan *FE methods*. Pendekatan FE terhadap *tubular joint* dilakukan dengan membagi struktur *tubular joint* menjadi elemen-elemen solid kecil dan diusahakan sehalus mungkin. Dengan metode ini, keakuratan yang didapat sangat dipengaruhi oleh model yang akan dianalisa (Murthy et al, 2004).

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Tubular Joint**

*Tubular joint* pada struktur lepas pantai merupakan bagian yang dominan digunakan terutama pada kaki-kaki penyangga anjungan seperti *jacket* dan *semi-submersible* yang merupakan *truss framework* (Murthy et al, 2004). *Tubular joint* memiliki dua bagian, bagian utama dengan diameter yang cukup besar disebut *chord*, sedangkan bagian kedua dengan diameter yang lebih kecil disebut *brace*.

Pada struktur *jacket*, kaki-kaki *jacket* dihubungkan oleh rangka-rangka dengan arah horizontal, diagonal-horizontal dan diagonal-vertikal. *Tubular joint* adalah sambungan las yang terbentuk oleh member-member dalam *tubular connection*. Pola perangkaan struktur penyangga anjungan mengikuti tipe-tipe *tubular connection* yang sangat beragam. Tipe *tubular connection simple joint* adalah T, Y, N, K dan X. Namun dalam aplikasinya pada struktur *jacket*, *tubular connection* merupakan bentuk-bentuk kombinasi dari *simple joint* seperti DK-joint, TY-joint, KT-joint, DKT-joint dalam satu *plane* atau bahkan *multiplanar* seperti pada Gambar 2.1. *multiplanar tubular joint* adalah *tubular joint* yang memiliki lebih dari satu bidang dimana *brace* berada pada bidang yang berbeda.



**Gambar 2.1** Kombinasi *Simple Joint* (Lee dan Dexter, 2004)

Dua hal utama yang perlu dipertimbangkan dalam desain *tubular joint* adalah kekuatan statis dan perilaku kelelahannya. Namun pada aplikasinya, pertimbangan kelelahan *tubular joint* tak hanya dilakukan pada tahap desain, tetapi perlu dilakukan ketika mulai terjadi tanda-tanda keretakan struktur. Karena sambungan tubular merupakan bagian diskontinuitas yang rentan terhadap cacat retak dimana retak awal pada *tubular joint* umumnya muncul pada bagian-bagian *intersection* seperti pada daerah sambungan las karena memiliki konsentrasi tegangan yang besar.

Terbentuknya *hot spot stress* dapat disebabkan oleh faktor metalurgis dan adanya kombinasi gaya-gaya aksial dan *moment* yang merupakan hasil pada *frame truss jacket*. Dapat juga disebabkan detail-detail sambungan yang kurang sempurna.

### **2.2.2 Fracture Mechanics**

*Fracture mechanics* (mekanika kepecahan) merupakan salah satu bagian dari mekanika yang membahas tegangan dan regangan pada struktur yang mengandung retak. Metode ini dikembangkan karena ketidakcocokan konsep perencanaan konvensional yang hanya didasarkan pada sifat-sifat umum material seperti kekuatan tarik (*tensile strength*), batas mulur (*yield stress*) maupun tegangan mulur (*buckling stress*) dimana konsep tersebut sangat tepat digunakan hanya pada struktur yang tidak memiliki cacat.

Mekanika kepecahan digunakan untuk menganalisa bagaimana perambatan retak jika dikenai beban berulang. Perambatan retak inilah yang nantinya digunakan untuk menentukan umur kelelahan dan panjang retak yang dapat ditoleransi sebelum terjadi kegagalan struktur (Maddox, 1999). Mekanika kepecahan dibagi dalam beberapa tahap yaitu tahap awal terjadinya retakan (*crack initiation*), tahap perambatan retak (*crack propagation*) dan patah (*final fracture*).

#### 1. Retak Awal (*Crack Initiation*)

Komponen-komponen struktur lepas pantai pada umumnya merupakan material logam yang disusun ketika proses fabrikasi. Retak awal dianggap sudah ada sejak proses fabrikasi, salah satu contohnya karena proses pengerjaan, pemilihan dan produksi material yang tidak sesuai.

#### 2. Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Struktur mengalami perambatan retak setelah retak awal terjadi akibat pembebanan berulang yang bekerja pada struktur. Perambatan retak ditentukan oleh dua parameter mekanika kepecahan, yaitu  $\Delta K$  dan  $K_{max}$  (Stoychev, 2008). Perambatan retak berbanding lurus dengan jumlah pembebanan. Pada pembebanan normal, perambatan retak terjadi sangat lambat. Dari data perambatan retak inilah suatu prediksi umur kelelahan struktur (*fatigue life*) dapat dikembangkan.

#### 3. *Final Fracture*

Tahap ini merupakan yang paling akhir dimana struktur mengalami kerusakan yang mengakibatkan kegagalan. Pada tahap ini, perambatan retak terjadi dengan sangat cepat. Retak yang terjadi pada tahap ini dapat berupa *brittle fracture (cleavage)*, *ductile fracture (rupture)* maupun kombinasi keduanya.

Menurut Barsom (1999), dalam perkembangan *fracture mechanics*, ada tiga faktor utama yang dapat mengontrol kemungkinan suatu struktur mengalami *brittle fracture*, yaitu:

##### 1. *Material Toughness* ( $K_c$ , $K_{Ic}$ , $K_{Id}$ )

*Material toughness* adalah kemampuan suatu material untuk menerima dan menahan intensitas tegangan tertentu pada ujung retak dan menghambat

perambatan retak. *Material toughness* bisa dideskripsikan sebagai *stress intensity factor* (SIF) kritis dalam kondisi *plane stress* ( $K_c$ ) atau *plane strain* ( $K_{Ic}$ ) untuk pembebanan yang lambat atau bersifat linier elastis. Sedangkan  $K_{Id}$  adalah ukuran ketangguhan kritis material dalam kondisi *constraint* maksimum (*plane strain*) dan pembebanan dinamis. *Material toughness* dapat digunakan sebagai kriteria perancangan struktur, dimana struktur akan mengalami *fast fracture* ketika  $K = K_{Ic}$ .

## 2. Ukuran Retak (a)

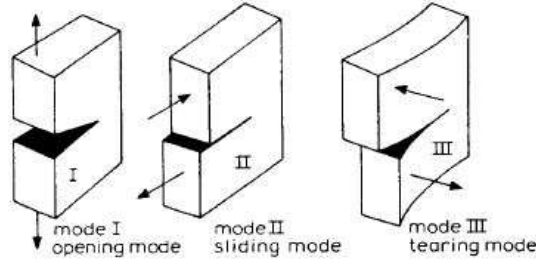
Diskontinuitas struktur tak hanya dapat mengalami kelelahan karena pembebanan berulang, tetapi juga dapat mengalami cacat sejak proses fabrikasi. Ukuran retak pada diskontinuitas struktur ini memungkinkan struktur mengalami *brittle fracture*.

## 3. Tegangan ( $\sigma$ )

Tegangan yang bekerja pada struktur, baik tegangan *nominal* maupun *residual* memungkinkan struktur mengalami *brittle fracture*.

### 2.2.3 Stress Intensity Factor (SIF)

*Stress Intensity Factor* (SIF) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk melakukan analisa keretakan yang mendeskripsikan tegangan yang terjadi di ujung retak. SIF sering digunakan sebagai parameter desain untuk menentukan sifat dari proses kepecahan dan dapat digunakan untuk menentukan umur sisa dari struktur yang mengalami kerusakan akibat kelelahan. Dengan adanya SIF, nantinya dapat juga diketahui bagaimana tingkat kelelahan perambatan retak. Irwin dan Westergaard mengemukakan bahwa distribusi tegangan di daerah ujung retak terdiri dari tiga mode, seperti pada Gambar 2.2. Pada mode I (*Opening Mode*), retak terbentuk akibat adanya tegangan normal tarik yang menyebabkan arah perambatan retak tegak lurus terhadap bidang retak. Pada Mode II (*Sliding Mode*), retak terbentuk akibat adanya tegangan geser dalam yang searah perambatan retak. Sedangkan pada Mode III (*Tearing Mode*), retak terbentuk akibat adanya tegangan geser luar yang bekerja pada arah melintang dan membentuk sudut dengan arah perambatan retak (Broek, 1987).



**Gambar 2.2** Mode Deformasi Retak (Broek, 1987)

Pada kondisi nyata, arah perambatan retak umumnya merupakan kombinasi dari ketiga mode di atas, namun Mode I merupakan yang paling dominan terhadap pembentukan *initial crack*. Sehingga dalam Tugas Akhir ini diasumsikan bahwa arah perambatan retak yang terjadi adalah sesuai dengan Mode I, yaitu tegak lurus terhadap bidang retak. Tegangan-tegangan yang terjadi pada Mode I adalah sebagai berikut (Barsom dan Rolfe, 1999) :

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.1)$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.2)$$

$$\sigma_z = \nu (\sigma_x + \sigma_y) = 0 \quad (2.3)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (2.4)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \quad (2.5)$$

dimana  $K_I$  = *Stress Intensity Factor* untuk Mode I

$\sigma_{x,y}$  = tegangan normal

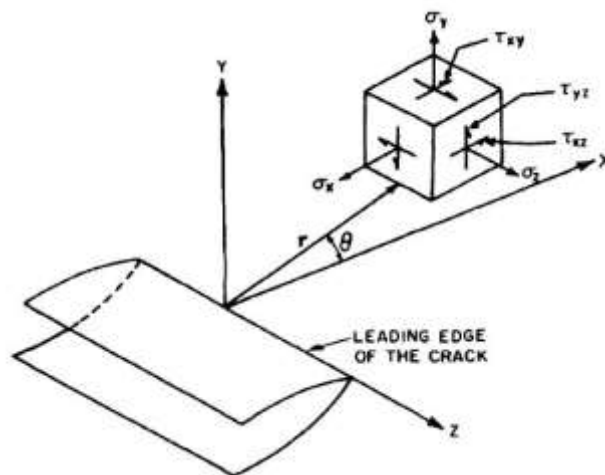
$\tau_{xy}$  = tegangan geser bidang x arah sumbu y

$r$  = jarak *crack tip* dengan *node* yang ditinjau

$\theta$  = sudut antara *node* yang ditinjau dengan sumbu x

$\nu$  = *Poisson's Ratio*

Komponen tegangan dan koordinat  $r$  dan  $\theta$  dapat dilihat pada Gambar 2.3. Notasi  $K$  merupakan faktor intensitas tegangan yang bila diketahui, maka medan tegangan di ujung retak akan dapat diketahui. Harga  $K$  bergantung pada beban luar, geometri eksternal dan geometri retak (Barsom dan Rolfe, 1999).



**Gambar 2.3** Sistem Koordinat dan Komponen Tegangan di Depan Ujung Retak (Barsom dan Rolfe, 1999)

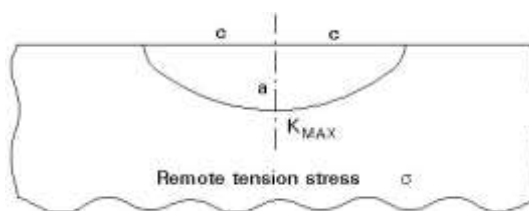
Pada plat dengan retak berbentuk semi-elliptical yang dikenai tegangan tarik *uniform*,  $\sigma$ , seperti pada Gambar 2.4, untuk  $\theta = \frac{\pi}{2}$ , maka harga *Stress Intensity Factor* adalah:

$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} \quad (2.6)$$

Dengan  $\sigma$  = tegangan nominal

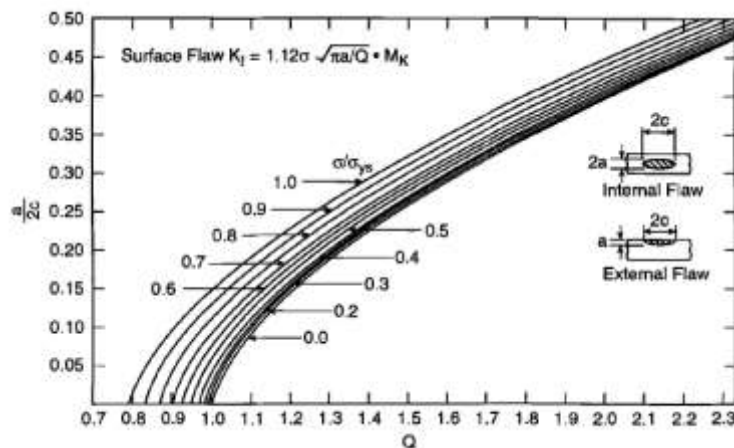
$a$  = kedalaman retak

$Q$  = parameter cacat



**Gambar 2.4** *Semi-elliptical Crack* pada Plat (Barsom dan Rolfe, 1999)

Nilai  $Q$  didapatkan dari grafik *flaw shape parameter*  $Q$  pada Gambar 2.5, dengan menghubungkan nilai  $\frac{a}{2c}$  dan  $\frac{\sigma}{\sigma_{ys}}$ .



**Gambar 2.5** *Flaw Shape Parameter Q* (Barsom dan Rolfe, 1999)

#### 2.2.4 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method / FEM*)

Analisa perilaku struktur dapat dilakukan dengan eksperimental maupun analisa numerik. Analisa numerik dapat berupa pemodelan matematik, pemodelan analitik dan rumus empiris. Penggunaan model matematik untuk penyelesaian masalah-masalah teknik jarang mencapai hasil yang analitik, umumnya menghasilkan suatu ekspresi matematik yang masih rumit dan melibatkan kondisi-kondisi batas. Meskipun hasilnya tidak eksak, penggunaan analisa numerik tetap menjadi populer dan dianggap cukup akurat dalam masalah teknik untuk kasus-kasus sederhana. Sedangkan untuk kasus yang lebih rumit, digunakan *numerical modeling* dengan *finite element* sebagai salah satu bentuk *numeric method* yang mampu menganalisa bentuk yang kompleks.

Pendekatan numerik ini merupakan suatu metode yang menggunakan informasi-informasi pada titik diskrit yang didapat dengan membagi suatu model menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Prinsip dasar FEM adalah memperlakukan suatu sistem sebagai gabungan dari beberapa elemen-elemen kecil yang disebut *finite element* melalui titik-titik yang disebut *nodes*.

Analisis menggunakan FEM harus memutuskan untuk membagi struktur dalam elemen hingga dan memilih jenis elemen yang dipakai dalam analisis, serta menentukan bentuk pembebanan dan kondisi batas atau tumpuan-tumpuan yang akan digunakan. Sementara itu proses/tahap berikutnya akan secara otomatis



dilakukan oleh program. Jumlah elemen yang digunakan, variasi ukuran dan jenis elemennya, pada dasarnya merupakan masalah “*engineering judgement*”. Elemen harus dibuat cukup kecil sehingga hasilnya semakin detail, namun juga harus cukup besar agar mengurangi waktu komputasionalnya (*running program*). Elemen-elemen yang kecil biasanya digunakan untuk lokasi dimana perubahan geometri terjadi secara drastis. Sedangkan elemen berukuran besar digunakan untuk lokasi dimana besaran yang ingin dicari perubahannya relatif konstan.

*Finite Element (FE) Method* banyak digunakan untuk menganalisis berbagai jenis retak pada sambungan *tubular*. Pada kondisi sesungguhnya, suatu anjungan lepas pantai akan terkena beban-beban aksial dan *bending* secara bersamaan sehingga menimbulkan efek pembesaran tegangan akibat interaksi keduanya, termasuk pada *tubular joint*. Jika efek dinamis diabaikan, maka dengan menggunakan FE dapat dihitung tegangan-tegangan maksimum yang terjadi pada tiap-tiap member pada struktur. Jika ukuran member ditentukan dengan cukup tepat, maka tegangan yang terjadi akan berada dalam rentang yang diijinkan sehingga dapat menghindari kegagalan.

Struktur *jacket* yang terdiri dari *chord* dan *brace* adalah suatu sistem yang terdiri dari banyak elemen *space frame*. Elemen *space frame* sebenarnya adalah gabungan dari dua macam elemen, yaitu elemen *truss* dan *beam* dalam koordinat global tiga dimensi. Pengasumsian ini didasarkan pada pembebanan dan lendutan yang akan terjadi pada elemennya. Elemen *truss* adalah elemen yang akan mengalami pembebanan dan lendutan pada arah aksial (pada arah sumbu elemen) sedang elemen *beam* akan mengalami pembebanan, lendutan dan momen ke arah lateral. Elemen *chord* dan *brace* pada struktur *jacket* akan mengalami pembebanan dari segala arah (aksial dan lateral) dalam ruang sehingga elemen *chord* dan *brace* tersebut akan mengalami lendutan dan momen ke segala arah pula. Jadi pendekatan model elemen yang paling baik untuk elemen *chord* dan *brace* ini adalah gabungan elemen *truss* dan *beam* dalam koordinat global tiga dimensi. Elemen tiga dimensi yang umum dipakai adalah berbentuk tetrahedral atau hexahedral (batu bata). Jenis elemen ini hanya dipakai jika kita menginginkan analisis tegangan secara tiga dimensional. Pembebanan untuk

pemodelan *tubular joint* tersebut bekerja pada ketebalan *member* untuk masing-masing arah koordinat global tiga dimensi.

Menurut Murthy, dkk (2004), pemilihan elemen untuk analisa suatu sambungan *tubular* tergantung pada geometri *joint* di bawah kondisi pembebanan aktual dan tujuan apa yang ingin dicapai. Sejumlah besar elemen hingga dengan perumusan berbeda telah digunakan untuk analisa *tubular joint*. Elemen hingga ini mungkin digolongkan ke dalam *shell element*, *thin-shell element* (Kirchoff), *thick shell element* (Reissner-Mindlin) dan *three dimensional element*.

#### **2.2.4.1 Elemen Shell**

Dalam analisa *tubular joint* terdapat tiga pendekatan yang berbeda yaitu:

1. Elemen segitiga atau segiempat datar yang terbentuk dari kombinasi *plane membrane* dengan elemen *plate bending*
2. Elemen lengkung
3. Elemen isoparametris 3D yang dikhususkan untuk penanganan elemen shell tipis (*thin shell element*)

Elemen *shell* bisa digunakan untuk model *tubular joint* tanpa *crack*, namun *weld* tidak dapat dimodelkan. Sedangkan dengan elemen *shell* tipis dapat diperlihatkan tegangan pada *chord* (Murthy et al, 2004).

#### **2.2.4.2 Elemen Solid**

Konsep dasar elemen solid berhubungan erat dengan koordinat natural dimana shape function ditentukan dari mapping antar dua sistem koordinat, yaitu koordinat Cartesian dan koordinat natural. Pada *tubular joint*, sebaiknya digunakan elemen *solid* untuk lebih mendekati kondisi yang sebenarnya. Elemen *solid* ini memiliki tiga titik pada arah ketebalannya.

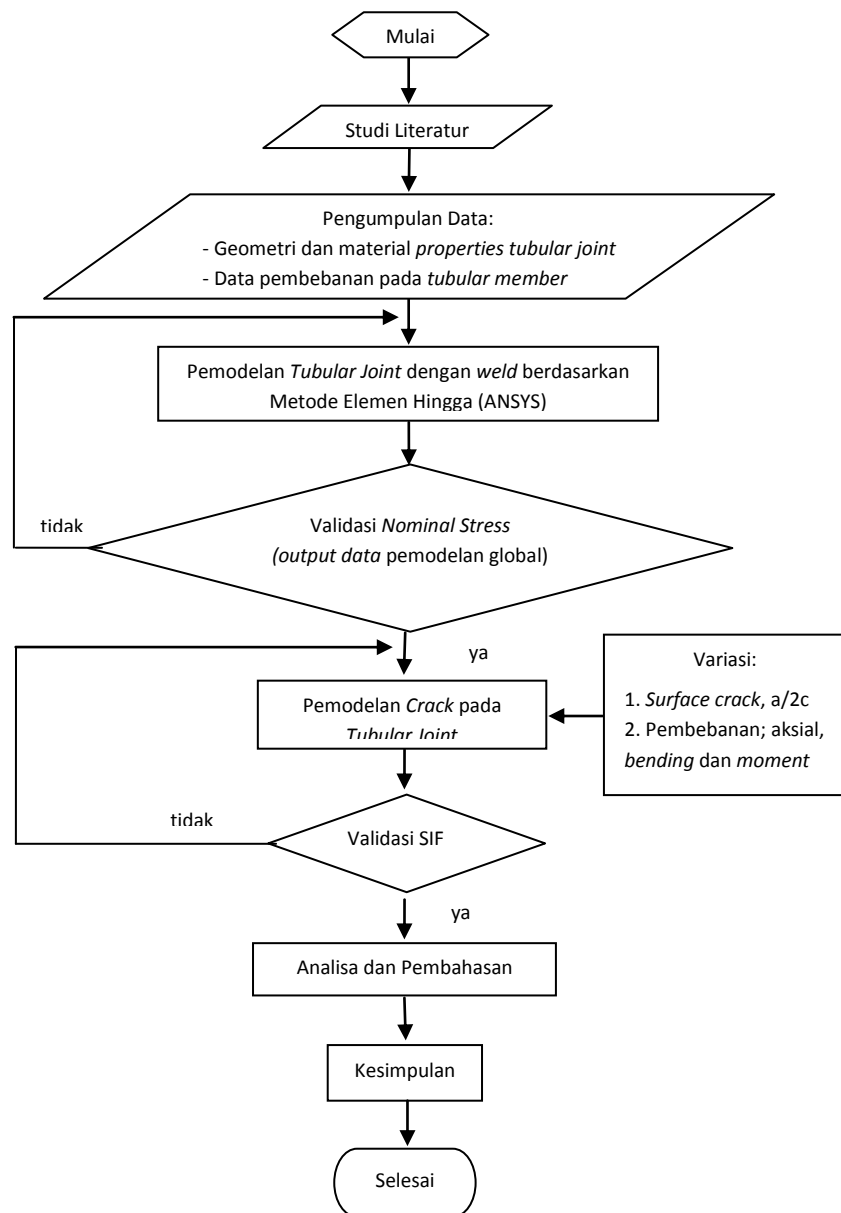
Untuk mendapatkan distribusi tegangan di sekitar *tubular joint*, perlu dilakukan analisa lokal pada *tubular joint* dengan *FE methods*. Pendekatan FE terhadap *tubular joint* dilakukan dengan membagi struktur *tubular joint* menjadi elemen-elemen solid kecil dan diusahakan sehalus mungkin. Dengan metode ini, keakuratan yang didapat sangat dipengaruhi oleh model yang akan dianalisa (Murthy et al, 2004).

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian Tugas Akhir ini digambarkan dalam Gambar 3.1 dan dijelaskan dalam sub-bab prosedur penelitian.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metode Penelitian

### 3.2 Prosedur Penelitian

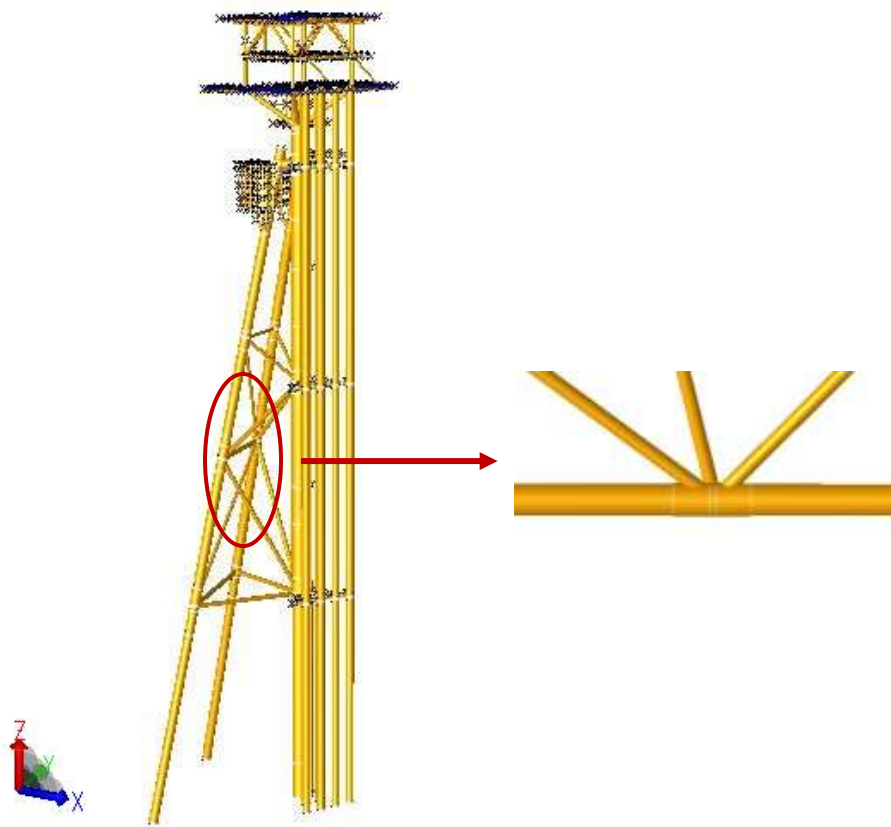
Prosedur dan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi literatur

Literatur yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah penelitian tugas akhir sebelumnya dan jurnal-jurnal serta buku-buku yang berkaitan dengan penelitian ini terutama tentang *tubular joint*, *stress intensity factor (SIF)* dan *fracture mechanics*.

2. Pengumpulan data

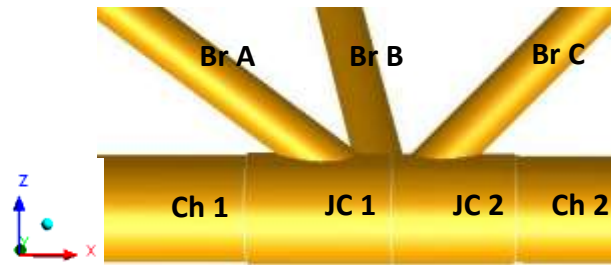
Struktur yang dianalisa dalam Tugas Akhir ini adalah *Multiplanar Tubular Joint* pada kaki *Braced Caisson Well Platform*, yang mana konfigurasi strukturnya menyerupai struktur *jacket platform* seperti disajikan dalam Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** *Braced Caisson Well Platform*

*Tubular Joint* ini merupakan sub-struktur dari suatu *Jacket Platform*. Data yang dibutuhkan dalam analisa *tubular joint* ini adalah data geometri

struktur, material yang digunakan dan pembebanan yang bekerja pada struktur, serta penentuan asumsi dari geometri *crack* yang terdapat pada *tubular joint*. Data-data pembebanan awal didapatkan dari pemodelan global struktur *Braced Caisson Well Platform*. Geometri *multiplanar tubular joint* ditunjukkan pada Gambar 3.3



**Gambar 3.3** *Multiplanar Tubular Joint (KY-joint)* yang Dianalisa

- a. Data Geometri Struktur *Multiplanar Tubular Joint* disajikan dalam Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Geometri *Multiplanar Tubular Joint*

|           | Thickness (t)<br>(in) | Outside Diameter (OD)<br>(in) | Inside Diameter (ID)<br>(in) | Length (L)<br>(in) |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Chord     | 0,5                   | 39                            | 38                           | 390                |
| Joint Can | 1,25                  | 40,5                          | 38                           | 96                 |
| Brace A   | 0,75                  | 18                            | 16,5                         | 224,38             |
| Brace B   | 0,5                   | 18                            | 17                           | 235                |
| Brace C   | 0,5                   | 18                            | 17                           | 248,31             |

- b. Data Material Struktur *Multiplanar Tubular Joint* disajikan dalam Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** *Material Properties* pada *Multiplanar Tubular Joint*

| Spec & Grade    | Yield Strength $\sigma_y$<br>(ksi) | Mod Young E<br>(ksi) | Shear Modulus G<br>(ksi) | Poisson's Ratio<br>$\nu$ |
|-----------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| API 2H Grade 50 | 50                                 | 29                   | 11,6                     | 0,3                      |

- c. Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint*

Pembebanan yang mengenai struktur *Multiplanar Tubular Joint* menggunakan data dari pemodelan global struktur *Braced Caisson Well Platform* dengan seluruh beban, meliputi beban struktur, beban peralatan,

beban perpipaan dan operasional, beban hidup, *drilling load* serta beban lingkungan. Dalam Tugas Akhir ini digunakan tiga variasi pembebanan. Model A menggunakan *force* dan *moment* sebagai beban kombinasi sesuai pemodelan global yang disajikan dalam Tabel 3.3. Model B hanya menggunakan *force* dalam semua arah bidang x-y-z (*axial* dan *shear*) tanpa *moment* sesuai pada Tabel 3.3. Sedangkan Model C hanya menggunakan *axial force* sesuai pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Data Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint*

| Variasi | Model A         |            |            |             |            |         |                   |
|---------|-----------------|------------|------------|-------------|------------|---------|-------------------|
|         |                 |            |            | Model B     |            |         |                   |
|         |                 |            |            |             |            |         | Model C           |
| Member  | Moment (lbf-in) |            |            | Force (lbf) |            |         | Axial Force (lbf) |
|         | X               | y          | z          | x           | y          | z       |                   |
| Ch 1    | 95.487,96       | -51.970,72 | 49.720,29  | -141,62     | 28.935,46  | -279,95 | -141.62           |
| Ch 2    | 83.378,63       | -44.194,39 | 62.258,65  | 118,24      | -1.556,8   | 162,27  | 118.24            |
| JC 1    | 287.080         | -135.550   | 148.280    | -346,7      | 75.240     | -730,4  | -346.7            |
| JC 2    | 278.200         | -132.910   | 202600     | 344,78      | -4.480,8   | 489,6   | -344.78           |
| Br A    | 139.674,5       | -24.881,56 | -15.963,08 | -65,66      | -23.778,82 | 430,85  | 636.01            |
| Br B    | 10.747,01       | 4.906,19   | 13.744,96  | -85,83      | -4.479,7   | -83,97  | 6519.5            |
| Br C    | -37.958,82      | 14.408,91  | 4.099,66   | -50,13      | 21.309,02  | 97,41   | 65.583            |

- d. Geometri *Crack* pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* berupa *surface crack* (asumsi) dengan variasi *c* dan variasi *a*.

*c* merupakan ukuran panjang retak. Pada pemodelan ini, dengan nilai  $\frac{a}{2c}$  yang sama, nilai *c* divariasikan mulai dari 1 in dan terus mengecil hingga 0,111 in seperti pada Tabel 3.4. Sedangkan *a* merupakan ukuran kedalaman retak. Pada pemodelan ini, dengan nilai  $\frac{a}{2c}$  yang sama, nilai *a* divariasikan mulai dari 0,05 in hingga 0,45 in seperti pada Tabel 3.5.

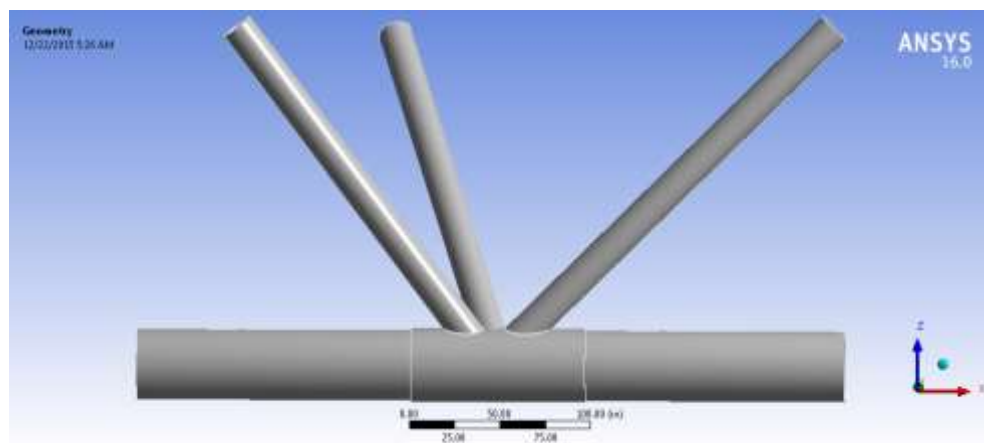
**Tabel 3.4** Geometri *Surface Crack (Semi Elliptical)* - Variasi *c*

|         | $a/2c$ | <i>a</i> (in) | <i>c</i> (in) |
|---------|--------|---------------|---------------|
| Model 1 | 0,05   | 0,1           | 1,000         |
| Model 2 | 0,15   | 0,1           | 0,333         |
| Model 3 | 0,25   | 0,1           | 0,2           |
| Model 4 | 0,35   | 0,1           | 0,143         |
| Model 5 | 0,45   | 0,1           | 0,111         |

**Tabel 3.5** Geometri *Surface Crack (Semi Elliptical)* - Variasi *a*

|         | $a/2c$ | $a$ (in) | $c$ (in) |
|---------|--------|----------|----------|
| Model 1 | 0,05   | 0,05     | 0,5      |
| Model 2 | 0,15   | 0,15     | 0,5      |
| Model 3 | 0,25   | 0,25     | 0,5      |
| Model 4 | 0,35   | 0,35     | 0,5      |
| Model 5 | 0,45   | 0,45     | 0,5      |

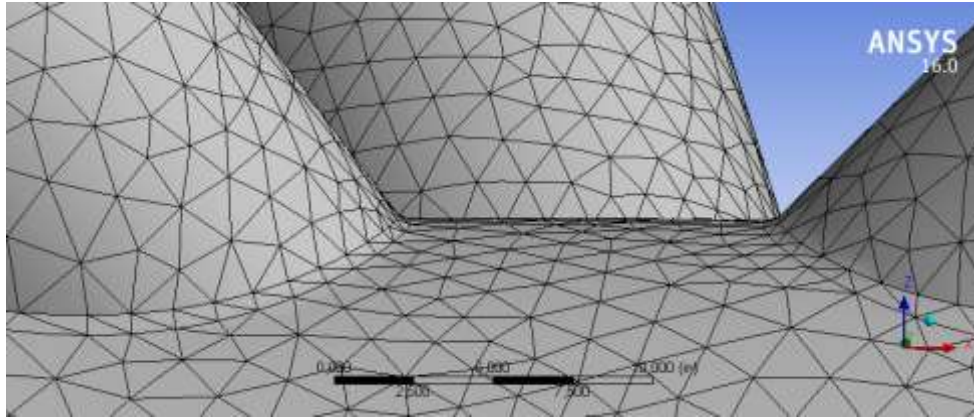
3. Pemodelan *Tubular Joint* dengan Metode Elemen Hingga pada ANSYS  
Struktur *Multiplanar Tubular Joint* dimodelkan secara menyeluruh menggunakan *software* ANSYS 16 dengan "Model A" sebagai model dasar seperti pada Gambar 3.4. Material yang digunakan sesuai data pemodelan global seperti pada Tabel 3.2. Pembebanan terdiri dari beban kombinasi *force* dan *moment* sesuai data pemodelan global seperti pada Tabel 3.3. Kondisi batas yang digunakan adalah *pinned* dengan *displacement* nol pada ujung-ujung *chord* untuk pergeseran arah *x*, *y* dan *z*. Karena *tubular joint* merupakan bagian dari struktur yang lebih panjang lagi yang letaknya bukan di bagian ujung struktur.



**Gambar 3.4** Model A - Geometri *Multiplanar Tubular Joint*

Untuk mendekati keadaan yang sesungguhnya, maka perlu dimodelkan sambungan las dengan ukuran sesuai pada aturan AWS D1.1 Structural Welding Code - Steel. Dalam *code* tersebut dijelaskan bahwa untuk *tubular connection*, penerapan lasan untuk kategori *fatigue* disesuaikan untuk ketebalan logam dasar. Dalam Tugas Akhir ini digunakan ukuran las 0,625

in (16 mm) untuk *tubular joint* dengan *toe fillet*. Gambar 3.5 menunjukkan *mesh* pada *tubular joint* dengan sambungan las.



**Gambar 3.5** Mesh pada *Multiplanar Tubular Joint*

#### 4. Validasi *Nominal Stress*

Dengan pemodelan lokal tersebut di atas maka didapatkan nilai *nominal stress* yaitu tegangan yang berada jauh dari *hot spot stress* yang terjadi ketika beban bekerja secara merata di sepanjang penampang suatu *member*. *Nominal stress* yang digunakan dalam studi ini adalah berupa *von Mises stress* yang divalidasi dengan *von Mises stress* pada pemodelan global untuk mengetahui presentase eror keduanya, didapatkan dari *probe stress* pada ANSYS 16.

*Von Mises stress* merupakan tegangan gabungan (equivalent) antara *shear stress* dan *axial stress* terhadap semua arah bidang elemen. Presentase eror sebaiknya sekecil mungkin sehingga model lokal mendekati kondisi yang sebenarnya. Berdasarkan ANSYS Theory Reference, von Mises stress dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_e = \frac{1}{2} \sqrt{[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{xz}^2)]} \quad (3.1)$$

Jika hasil keduanya adalah valid, maka pemodelan lokal tersebut dijadikan model dasar untuk variasi pemodelan selanjutnya dengan berbagai ukuran *crack* maupun berbagai variasi pembebanan.

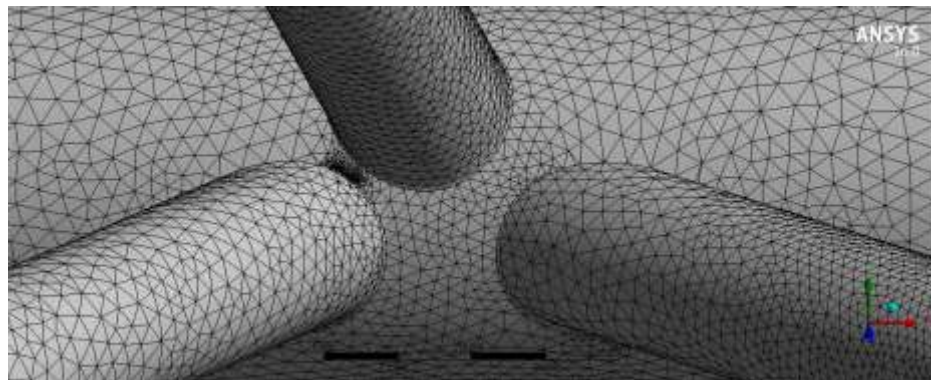


**Tabel 3.6** Validasi *Nominal Stress* (psi) pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint*

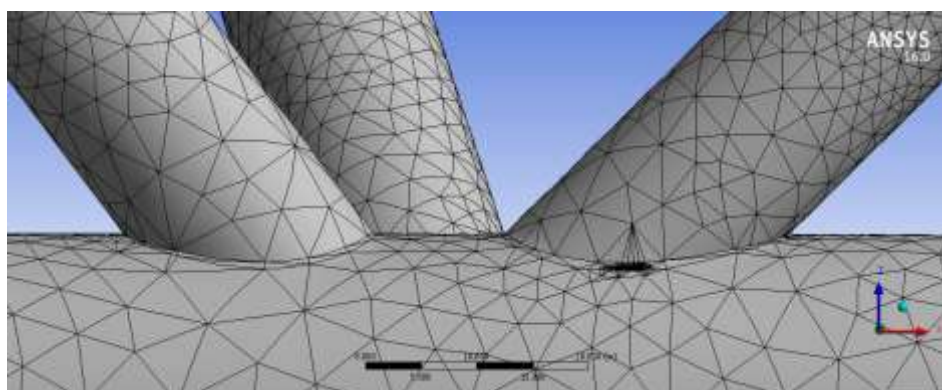
| <i>Global Analysis</i> | <i>Local Analysis</i> | <i>% error</i> |
|------------------------|-----------------------|----------------|
| 37.649,13              | 36.391                | 3,34 %         |

5. Pemodelan *Crack* pada *Tubular Joint*

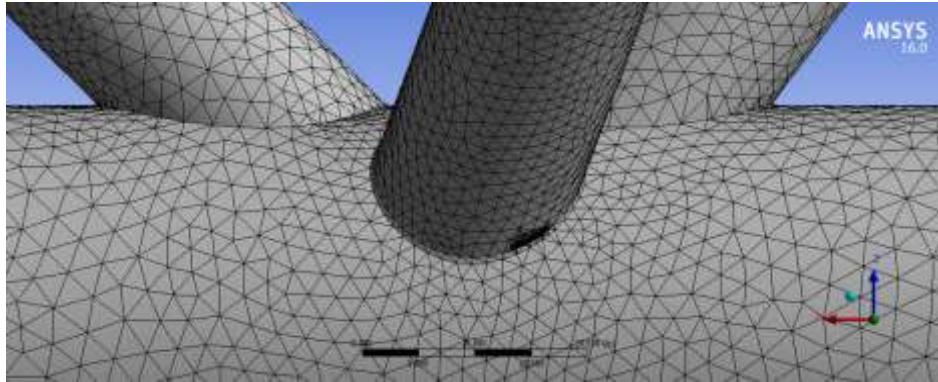
Pemodelan *surface crack* dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk masing-masing variasi pembebanan sesuai variasi *crack* seperti pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5. *Crack* dimodelkan berada pada lokasi *stress* maksimum. Pada Model A, *crack* berada di permukaan *Joint Can* dengan posisi dekat sambungan las *Brace A* pada koordinat (-9,1518; -317,76; 18,735) seperti pada Gambar 3.6. Pada Model B, *crack* berada di permukaan sambungan las *Brace C* pada koordinat (17,377; -335,41; 17,687) seperti pada Gambar 3.7. Pada Model C, *crack* berada di permukaan *Brace B* dengan posisi dekat sambungan las pada koordinat (-6,2394; -306,64; 8,2325) seperti pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.6** Lokasi *Crack* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model A

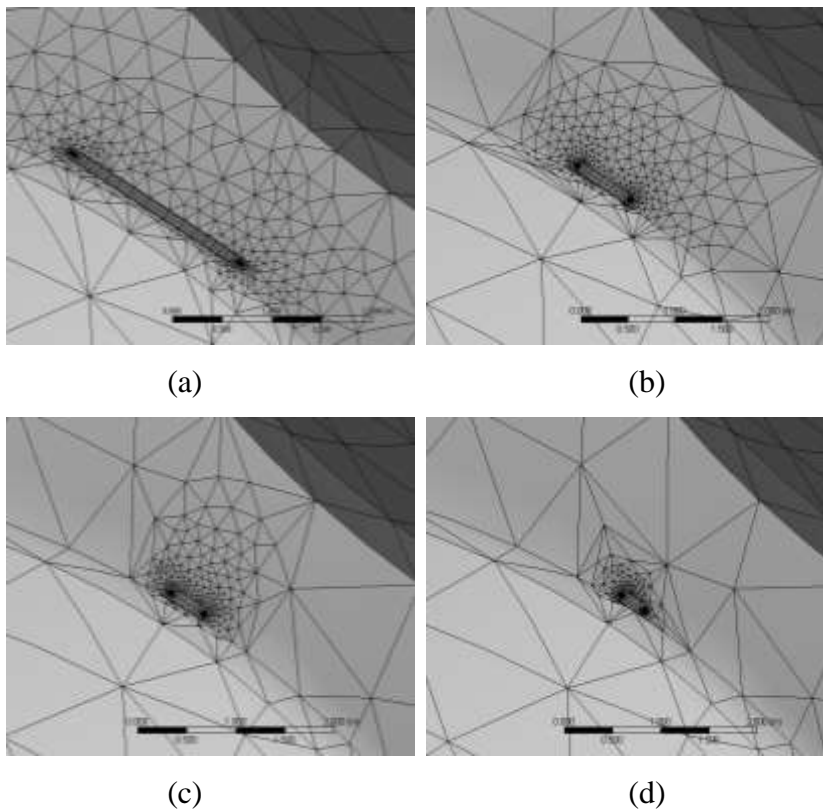


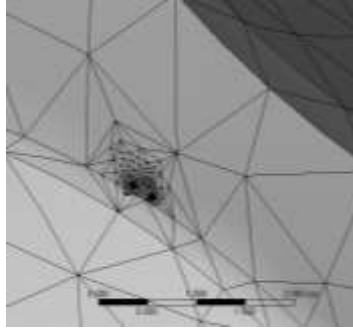
**Gambar 3.7** Lokasi *Crack* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model B



**Gambar 3.8** Lokasi *Crack* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model C

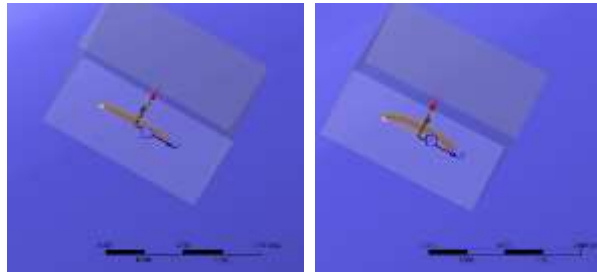
Daerah sekitar retak dibuat dengan kerapatan *meshing* yang lebih halus, hal ini dilakukan untuk mendapatkan tegangan yang mendekati kondisi sebenarnya pada setiap *node*. Hasil pemodelan *crack* dengan variasi  $c$  sesuai ukuran pada Tabel 3.4 disajikan pada Gambar 3.9. Sedangkan untuk variasi  $a$  dengan ukuran sesuai data pada Tabel 3.5 disajikan pada Gambar 3.10.





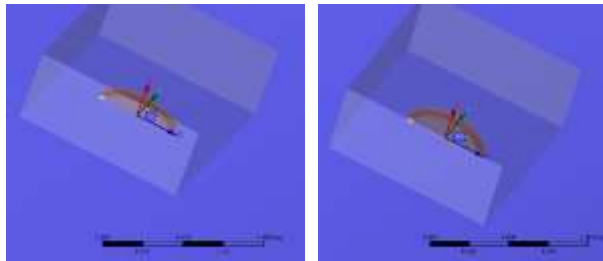
(e)

**Gambar 3.9** Pemodelan *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5



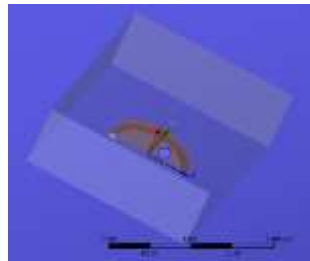
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

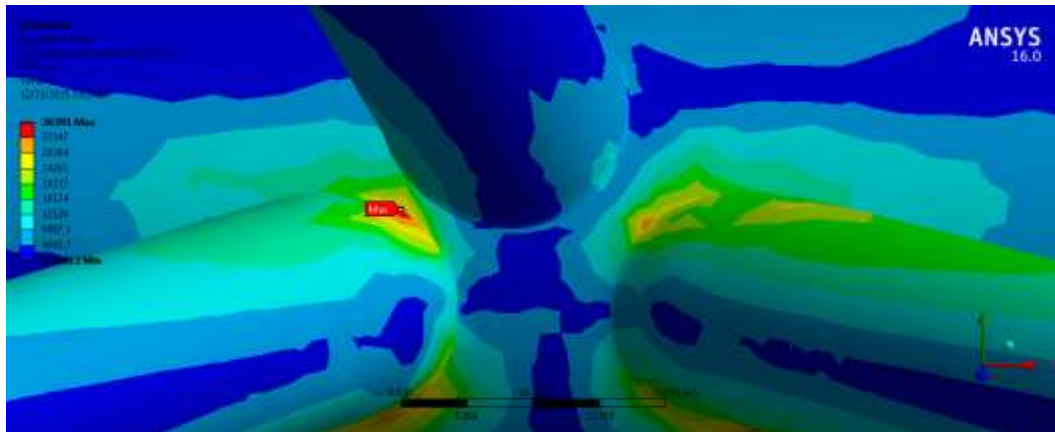
**Gambar 3.10** Pemodelan *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

## BAB IV

### ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemodelan Dasar

Hasil pemodelan dasar *tubular joint* tanpa *crack* dengan pembebanan total seperti yang telah dijelaskan dalam Bab III (Model A) pada ANSYS 16 adalah berupa distribusi *von Mises stress*, *nominal stress* dan *total deformation* pada bagian *intersection*. Gambar 4.1 menunjukkan tegangan terbesar untuk Model A yang berada di sekitar sambungan *Joint Can* dan *Brace A*, yaitu sebesar 36.391 psi. Distribusi tegangan von Mises pada Model B dan C disajikan dalam Lampiran C.

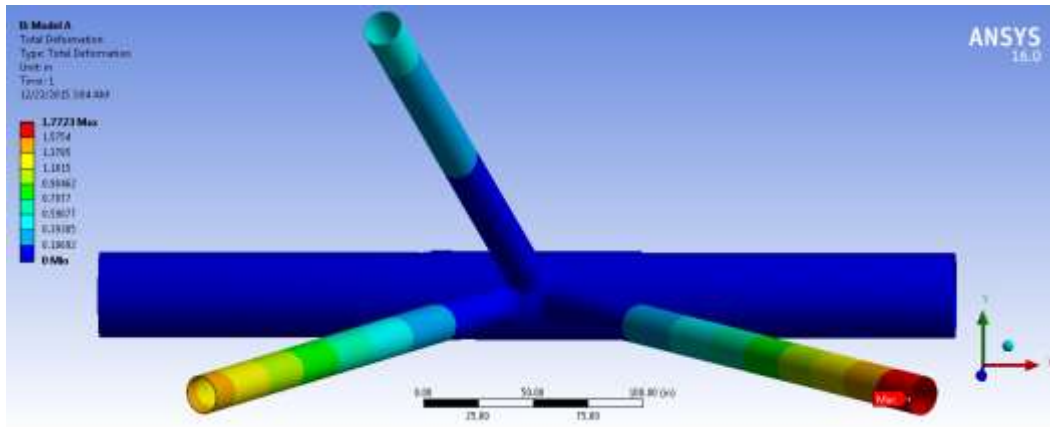


**Gambar 4.1** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model A

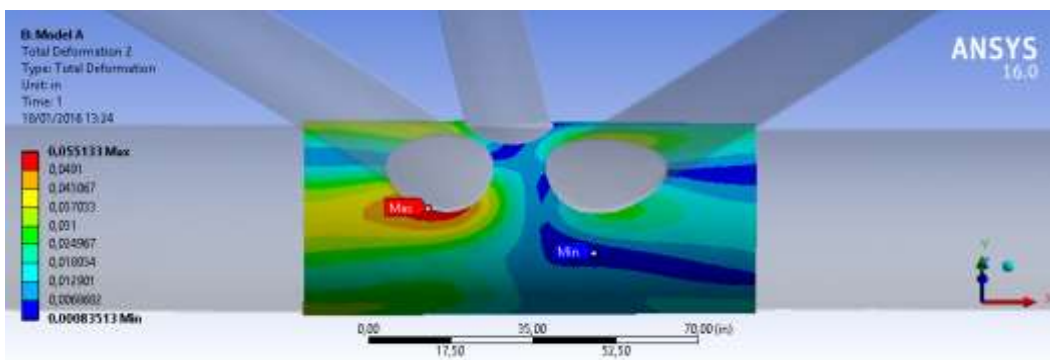
Nilai *nominal stress* pada model dasar nantinya akan digunakan untuk perhitungan SIF sebagai validasi terhadap nilai SIF dari *output* pemodelan *tubular joint* dengan *crack* pada ANSYS 16. *Nominal stress* adalah tegangan yang berada jauh dari *hot spot stress* yang terjadi ketika beban bekerja secara merata di sepanjang penampang suatu *member*.

*Total deformation* pada model dasar berada di ujung Brace C sebesar 1,7723 in karena bagian ini merupakan bagian yang menerima beban-beban terbesar, ditunjukkan pada Gambar 4.2. Deformasi maksimum Model A berada pada *intersection* antara chord dengan sambungan las *Brace A* sebesar 0,055133 in

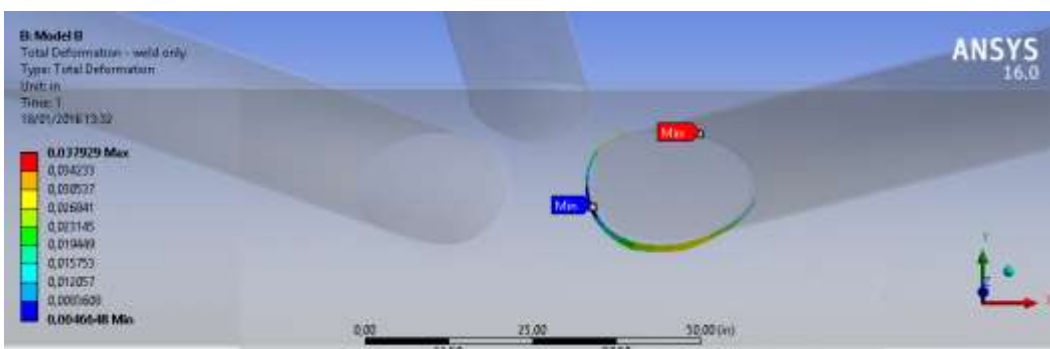
seperti pada Gambar 4.3.a. Deformasi maksimum Model B sebesar 0,037929 in pada sambungan las Brace C ditunjukkan pada Gambar 4.3.b. Sedangkan pada Model C, deformasi maksimum sebesar 0,011612 in pada sambungan las Brace B disajikan pada Gambar 4.3.c.



**Gambar 4.2** Total Deformation pada Multiplanar TubularJoint - Model A

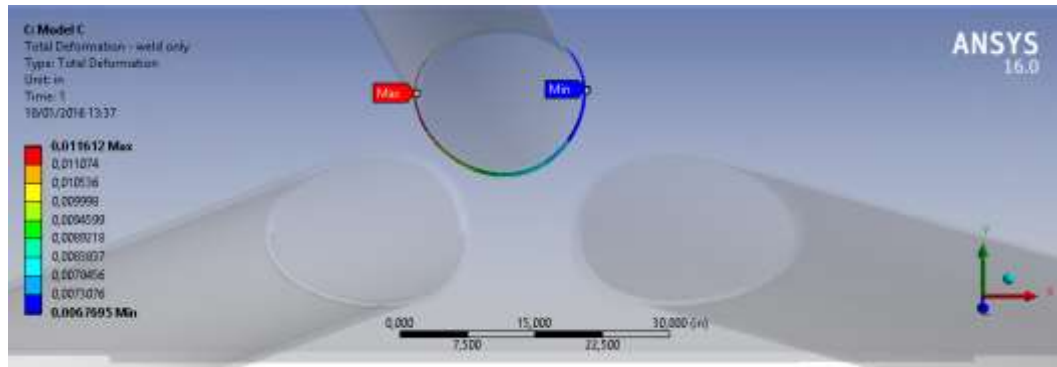


**Gambar 4.3.a** Deformasi pada Multiplanar TubularJoint - Model A



**Gambar 4.3.b** Deformasi pada Multiplanar TubularJoint - Model B





**Gambar 4.3.c** Deformasi pada *Multiplanar TubularJoint* - Model C

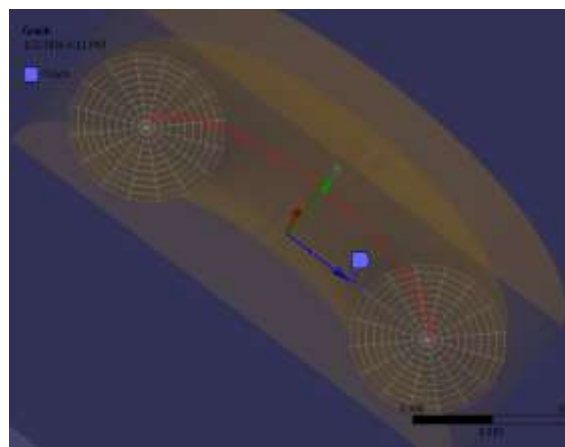
Hasil pemodelan *tubular joint* tanpa *crack* pada ANSYS 16 disajikan dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Pemodelan Dasar *Multiplanar Tubular Joint*

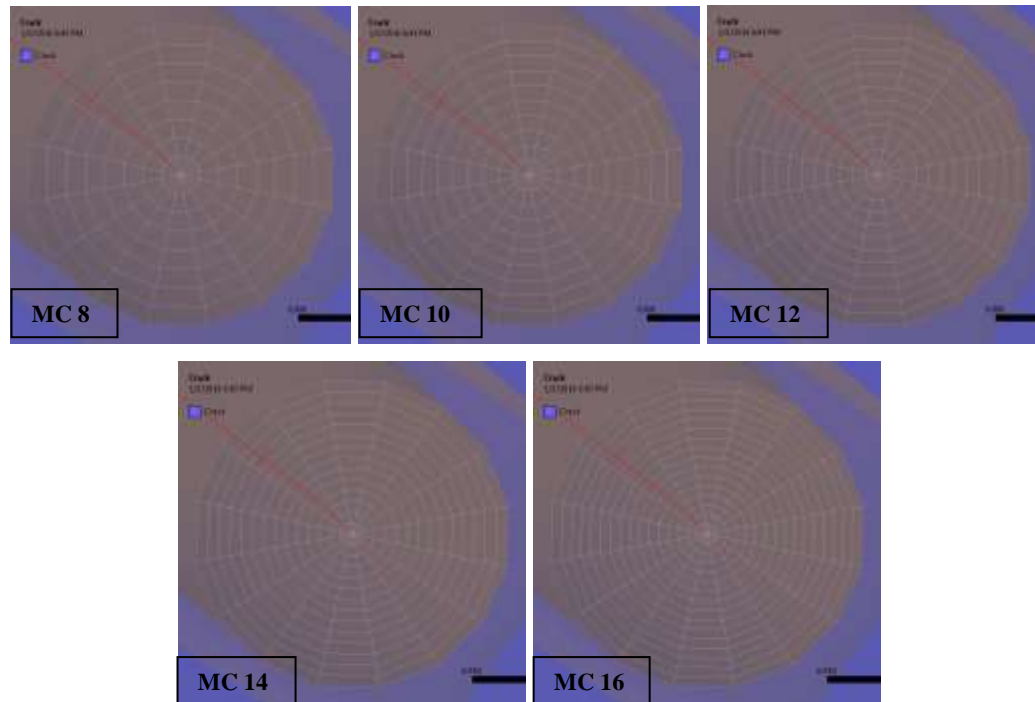
| Model | $Stress_{max}$ (psi) | $Nominal\ Stress_{max}$ (psi) | $Total\ Deformation_{max}$ (in) |
|-------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| A     | 36.391               | 34.179                        | 0,055133                        |
| B     | 33.965               | 30.282                        | 0,037929                        |
| C     | 3.178                | 2.561                         | 0,011612                        |

## 4.2 Mesh Sensitivity

*Mesh sensitivity* pada pemodelan *tubular joint* yang memiliki retak dilakukan dengan mengubah ukuran *mesh contour* karena pengaruhnya pada nilai SIF cukup besar. *Mesh contour* yang ada pada *software* memiliki ukuran 8-16. *Mesh contour* ini membagi elemen kontur retak menjadi lebih kecil dan rapat sesuai ukuran *mesh contour* yang dipilih, seperti pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



**Gambar 4.4** *Mesh Contour* pada *Crack*



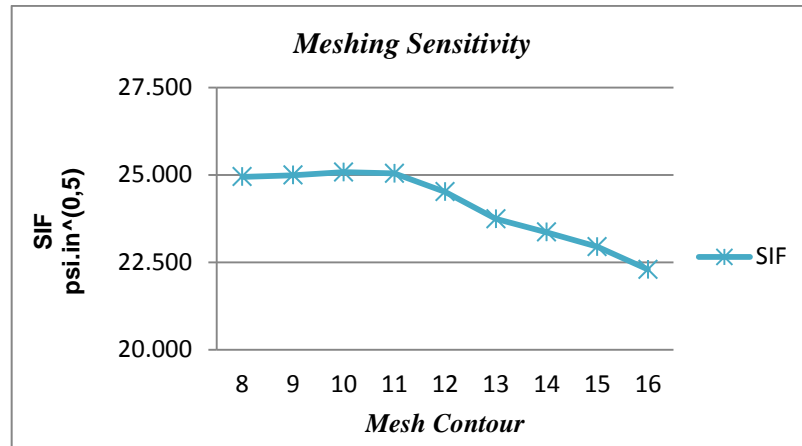
**Gambar 4.5** Detail *Mesh Contour* pada *Crack*

Untuk mengetahui sensitivitas *meshing* dan mendapatkan nilai SIF yang relatif konstan pada pemodelan ini, dilakukan percobaan untuk setiap ukuran *mesh contour*. Tabel 4.2 menyajikan hasil percobaan tersebut.

**Tabel 4.2** Hasil *Meshing* Setiap *Mesh Contour*

| <i>Mesh Contour</i> | SIF<br>$\text{psi.in}^{(0,5)}$ |
|---------------------|--------------------------------|
| 8                   | 24,946                         |
| 9                   | 24,992                         |
| 10                  | 25,077                         |
| 11                  | 25,050                         |
| 12                  | 24,517                         |
| 13                  | 23,742                         |
| 14                  | 23,364                         |
| 15                  | 22,948                         |
| 16                  | 22,299                         |

Dalam pemodelan *tubular joint* ini, ukuran *meshing* yang digunakan adalah ukuran 10 karena pada ukuran ini nilai SIF cenderung konstan dengan perubahan yang tidak signifikan. Gambar 4.6 menunjukkan grafik sensitivitas *meshing* sesuai percobaan.



**Gambar 4.6** Sensitivitas *Meshing* Terhadap Nilai SIF

### 4.3 Pemodelan *Crack*

Pemodelan *crack* dilakukan dengan beberapa variasi  $c$  dan  $a$ .  $c$  merupakan ukuran panjang retak. Pada pemodelan ini, dengan nilai  $\frac{a}{2c}$  yang sama, nilai  $c$  divariasikan mulai dari 1 in dan terus mengecil hingga 0,111 in. Sedangkan  $a$  merupakan ukuran kedalaman retak. Pada pemodelan ini, dengan nilai  $\frac{a}{2c}$  yang sama, nilai  $a$  divariasikan mulai dari 0,05 in hingga 0,45 in.

Hasil pemodelan *tubular joint* dengan *crack* adalah berupa distribusi *von Mises stress*, *normal stress*, *total deformation* dan *stress intensity factor* (SIF). Tabel 4.3 menyajikan hasil pemodelan berupa *von Mises stress* dan *total deformation* pada masing-masing variasi pemodelan.

**Tabel 4.3.a** Hasil Pemodelan *Multiplanar Tubular Joint* - Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c*

| Model    | $a/2c$ | $a$<br>(in) | $c$<br>(in) | Von-Mises<br>Stress <sub>max</sub><br>(psi) | Total<br>Deformation <sub>max</sub><br>(in) |
|----------|--------|-------------|-------------|---|---|
| Model A1 | 0,05   | 0,1         | 1,000       | 363.870                                     | 0,061635                                    |
| Model A2 | 0,15   | 0,1         | 0,333       | 307.840                                     | 0,061617                                    |
| Model A3 | 0,25   | 0,1         | 0,200       | 245.060                                     | 0,061608                                    |
| Model A4 | 0,35   | 0,1         | 0,143       | 238.120                                     | 0,061607                                    |
| Model A5 | 0,45   | 0,1         | 0,111       | 232.650                                     | 0,061606                                    |



**Tabel 4.3.b** Hasil Pemodelan *Multiplanar Tubular Joint* - Variasi  
Pembebanan A dan Variasi *Crack a*

| Model    | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Von-Mises<br>Stress <sub>max</sub><br>(psi) | Total<br>Deformation <sub>max</sub><br>(in) |
|----------|------|-----------|-----------|---|---|
| Model A1 | 0,05 | 0,05      | 0,5       | 528.090                                     | 0,061615                                    |
| Model A2 | 0,15 | 0,15      | 0,5       | 258.230                                     | 0,061621                                    |
| Model A3 | 0,25 | 0,25      | 0,5       | 284.320                                     | 0,061630                                    |
| Model A4 | 0,35 | 0,35      | 0,5       | 343.470                                     | 0,061637                                    |
| Model A5 | 0,45 | 0,45      | 0,5       | 397.450                                     | 0,061642                                    |

**Tabel 4.3.c** Hasil Pemodelan *Multiplanar Tubular Joint* - Variasi  
Pembebanan B dan Variasi *Crack c*

| Model    | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Von-Mises<br>Stress <sub>max</sub><br>(psi) | Total<br>Deformation <sub>max</sub><br>(in) |
|----------|------|-----------|-----------|---|---|
| Model B1 | 0,05 | 0,1       | 1,000     | 221.690                                     | 0,038026                                    |
| Model B2 | 0,15 | 0,1       | 0,333     | 209.030                                     | 0,037931                                    |
| Model B3 | 0,25 | 0,1       | 0,200     | 159.440                                     | 0,037930                                    |
| Model B4 | 0,35 | 0,1       | 0,143     | 158.510                                     | 0,037929                                    |
| Model B5 | 0,45 | 0,1       | 0,111     | 152.070                                     | 0,037929                                    |

**Tabel 4.3.d** Hasil Pemodelan *Multiplanar Tubular Joint* - Variasi  
Pembebanan B dan Variasi *Crack a*

| Model    | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Von-Mises<br>Stress <sub>max</sub><br>(psi) | Total<br>Deformation <sub>max</sub><br>(in) |
|----------|------|-----------|-----------|---|---|
| Model B1 | 0,05 | 0,05      | 0,5       | 371.200                                     | 0,037937                                    |
| Model B2 | 0,15 | 0,15      | 0,5       | 203.110                                     | 0,037941                                    |
| Model B3 | 0,25 | 0,25      | 0,5       | 210.330                                     | 0,037946                                    |
| Model B4 | 0,35 | 0,35      | 0,5       | 259.040                                     | 0,037950                                    |
| Model B5 | 0,45 | 0,45      | 0,5       | 295.070                                     | 0,037953                                    |

**Tabel 4.3.e** Hasil Pemodelan *Multiplanar Tubular Joint* - Variasi Pembebanan C dan Variasi *Crack c*

| Model    | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Von-Mises<br>Stress <sub>max</sub><br>(psi) | Total<br>Deformation <sub>max</sub><br>(in) |
|----------|------|-----------|-----------|---|---|
| Model C1 | 0,05 | 0,1       | 1,000     | 34.704                                      | 0,011618                                    |
| Model C2 | 0,15 | 0,1       | 0,333     | 27.428                                      | 0,011614                                    |
| Model C3 | 0,25 | 0,1       | 0,200     | 26.746                                      | 0,011613                                    |
| Model C4 | 0,35 | 0,1       | 0,143     | 23.422                                      | 0,011613                                    |
| Model C5 | 0,45 | 0,1       | 0,111     | 22.640                                      | 0,011613                                    |

**Tabel 4.3.f** Hasil Pemodelan *Multiplanar Tubular Joint* - Variasi Pembebanan C dan Variasi *Crack a*

| Model    | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Von-Mises<br>Stress <sub>max</sub><br>(psi) | Total<br>Deformation <sub>max</sub><br>(in) |
|----------|------|-----------|-----------|---|---|
| Model C1 | 0,05 | 0,05      | 0,5       | 45.027                                      | 0,011615                                    |
| Model C2 | 0,15 | 0,15      | 0,5       | 20.244                                      | 0,011616                                    |
| Model C3 | 0,25 | 0,25      | 0,5       | 25.545                                      | 0,011617                                    |
| Model C4 | 0,35 | 0,35      | 0,5       | 31.064                                      | 0,011617                                    |
| Model C5 | 0,45 | 0,45      | 0,5       | 34.178                                      | 0,011617                                    |

Dalam Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa pada setiap variasi *crack c*, tegangan yang terjadi selalu mengalami penurunan, sebanding dengan semakin kecilnya ukuran panjang retak (c). Dan sebaliknya terus meningkat pada variasi *crack a* sebagaimana ukuran kedalaman retak (a) yang semakin besar.

Sedangkan pada variasi pembebanan, tegangan maksimum pada Model A merupakan yang paling tinggi dibandingkan dengan Model B maupun Model C. Hal ini dikarenakan Model A memiliki pembebanan yang paling kompleks dengan adanya *force* dan *moment* seperti yang telah dijelaskan dalam Bab III.

#### 4.4 *Stress Intensity Factor (SIF)*

SIF merupakan salah satu output pemodelan *tubular joint* dengan retak. Namun perhitungan SIF secara manual perlu dilakukan untuk divalidasikan dengan nilai

SIF dari output pemodelan pada *software*. Berdasarkan rumus SIF pada persamaan 2.6, tegangan normal yang digunakan untuk perhitungan adalah tegangan normal pada masing-masing model dasar sesuai variasinya, yaitu Model A, Model B, dan Model C sesuai nilai *normal stress* pada Tabel 4.1.

Di bawah ini Tabel 4.4 menyajikan hasil pemodelan berupa *normal stress* dan SIF pada masing-masing variasi pemodelan.

**Tabel 4.4.a** SIF - Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c*

| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>x-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>y-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>z-axis<br>(psi) | SIF <sub>max</sub><br>model<br>(psi√in) | SIF <sub>max</sub><br>manual<br>(psi√in) | %<br><i>error</i> |
|-------|------|-----------|-----------|--|--|--|---|--|-------------------|
| A1    | 0,05 | 0,1       | 1,000     | 581.210  | 698.600  | 375.600  | 25.077                                  | 22.611                                   | 9,83              |
| A2    | 0,15 | 0,1       | 0,333     | 436.540  | 568.150  | 308.500  | 22.749                                  | 20.546                                   | 9,68              |
| A3    | 0,25 | 0,1       | 0,200     | 337.450  | 428.350  | 269.400  | 20.313                                  | 18.327                                   | 9,78              |
| A4    | 0,35 | 0,1       | 0,143     | 257.940  | 357.390  | 234.330  | 17.282                                  | 15.728                                   | 8,99              |
| A5    | 0,45 | 0,1       | 0,111     | 233.580  | 362.010  | 234.240  | 15.458                                  | 14.365                                   | 7,07              |

**Tabel 4.4.b** SIF - Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a*

| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>x-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>y-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>z-axis<br>(psi) | SIF <sub>max</sub><br>model<br>(psi√in) | SIF <sub>max</sub><br>manual<br>(psi√in) | %<br><i>error</i> |
|-------|------|-----------|-----------|--|--|--|---|--|-------------------|
| A1    | 0,05 | 0,05      | 0,5       | 753.920  | 1.055.200  | 557.630  | 16.779                                  | 15.988                                   | 4,71              |
| A2    | 0,15 | 0,15      | 0,5       | 368.740  | 473.880  | 259.010  | 25.212                                  | 25.164                                   | 0,19              |
| A3    | 0,25 | 0,25      | 0,5       | 366.860  | 489.130  | 330.040  | 26.089                                  | 28.977                                   | 9,97              |
| A4    | 0,35 | 0,35      | 0,5       | 347.530  | 581.080  | 392.910  | 29.966                                  | 29.452                                   | 1,80              |
| A5    | 0,45 | 0,45      | 0,5       | 362.930  | 633.640  | 428.870  | 32.858                                  | 30.472                                   | 7,26              |

**Tabel 4.4.c** SIF - Variasi Pembebanan B dan Variasi *Crack c*

| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>x-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>y-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>z-axis<br>(psi) | SIF <sub>max</sub><br>model<br>(psi√in) | SIF <sub>max</sub><br>manual<br>(psi√in) | %<br>error |
|-------|------|-----------|-----------|--|--|--|---|--|------------|
| B1    | 0,05 | 0,1       | 1,000     | 288.980  | 464.590  | 232.890  | 17.910                                  | 19.198                                   | 6,71       |
| B2    | 0,15 | 0,1       | 0,333     | 268.020  | 434.450  | 215.270  | 16.518                                  | 17.722                                   | 6,80       |
| B3    | 0,25 | 0,1       | 0,200     | 186.750  | 318.920  | 173.380  | 14.470                                  | 15.949                                   | 9,27       |
| B4    | 0,35 | 0,1       | 0,143     | 140.410  | 249.630  | 151.950  | 13.654                                  | 14.166                                   | 3,61       |
| B5    | 0,45 | 0,1       | 0,111     | 125.450  | 246.190  | 151.520  | 12.380                                  | 12.872                                   | 3,82       |

**Tabel 4.4.d** SIF - Variasi Pembebanan B dan Variasi *Crack a*

| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>x-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>y-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>z-axis<br>(psi) | SIF <sub>max</sub><br>model<br>(psi√in) | SIF <sub>max</sub><br>manual<br>(psi√in) | %<br>error |
|-------|------|-----------|-----------|--|--|--|---|--|------------|
| B1    | 0,05 | 0,05      | 0,5       | 496.550  | 782.490  | 391.720  | 12.765                                  | 13.575                                   | 5,97       |
| B2    | 0,15 | 0,15      | 0,5       | 264.440  | 424.180  | 210.940  | 20.705                                  | 21.705                                   | 4,61       |
| B3    | 0,25 | 0,25      | 0,5       | 276.540  | 437.240  | 246.430  | 23.552                                  | 25.217                                   | 6,60       |
| B4    | 0,35 | 0,35      | 0,5       | 254.720  | 466.920  | 304.470  | 24.777                                  | 26.501                                   | 6,51       |
| B5    | 0,45 | 0,45      | 0,5       | 240.890  | 528.380  | 341.390  | 26.331                                  | 27.305                                   | 3,57       |

**Tabel 4.4.e** SIF - Variasi Pembebanan C dan Variasi *Crack c*

| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>x-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>y-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>z-axis<br>(psi) | SIF <sub>max</sub><br>model<br>(psi√in) | SIF <sub>max</sub><br>manual<br>(psi√in) | %<br>error |
|-------|------|-----------|-----------|--|--|--|---|--|------------|
| C1    | 0,05 | 0,1       | 1,000     | 44.532   | 61.972   | 33.041   | 1.653                                   | 1.584                                    | 4,19       |
| C2    | 0,15 | 0,1       | 0,333     | 29.978   | 41.738   | 22.383   | 1.519                                   | 1.449                                    | 4,61       |
| C3    | 0,25 | 0,1       | 0,200     | 28.004   | 39.529   | 23.662   | 1.331                                   | 1.321                                    | 0,75       |
| C4    | 0,35 | 0,1       | 0,143     | 26.606   | 38.587   | 27.143   | 1.232                                   | 1.191                                    | 3,30       |
| C5    | 0,45 | 0,1       | 0,111     | 26.676   | 40.349   | 28.163   | 1.134                                   | 1.072                                    | 5,48       |

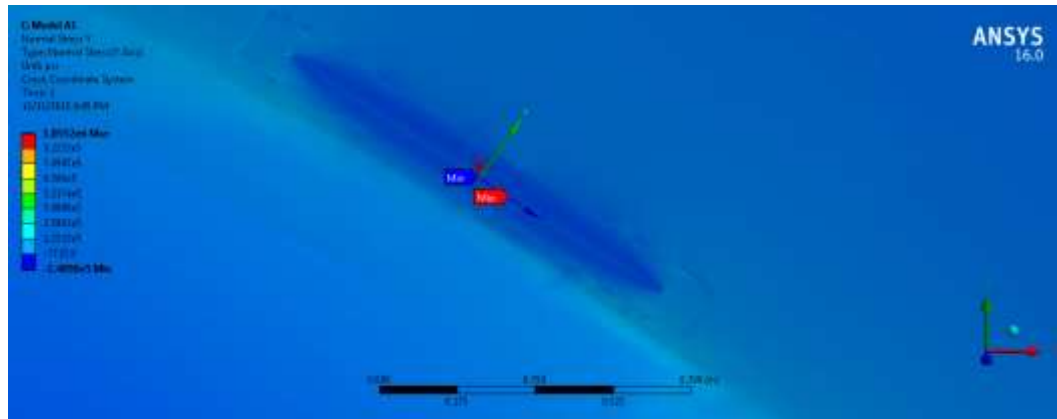
**Tabel 4.4.f** SIF - Variasi Pembebanan C dan Variasi *Crack a*

| Model | $a/2c$ | a<br>(in) | c<br>(in) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>x-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>y-axis<br>(psi) | Normal<br>Stress <sub>max</sub><br>z-axis<br>(psi) | SIF <sub>max</sub><br>model<br>(psi√in) | SIF <sub>max</sub><br>manual<br>(psi√in) | %<br>error |
|-------|--------|-----------|-----------|--|--|--|---|--|------------|
| C1    | 0,05   | 0,05      | 0,5       | 59.064   | 79.693   | 42.765   | 1.236                                   | 1.120                                    | 9,39       |
| C2    | 0,15   | 0,15      | 0,5       | 25.562   | 35.376   | 19.218   | 1.618                                   | 1.775                                    | 8,82       |
| C3    | 0,25   | 0,25      | 0,5       | 25.002   | 37.549   | 25.719   | 1.912                                   | 2.089                                    | 8,47       |
| C4    | 0,35   | 0,35      | 0,5       | 29.792   | 45.390   | 30.519   | 2.043                                   | 2.229                                    | 8,34       |
| C5    | 0,45   | 0,45      | 0,5       | 32.537   | 49.543   | 33.185   | 2.177                                   | 2.273                                    | 4,21       |

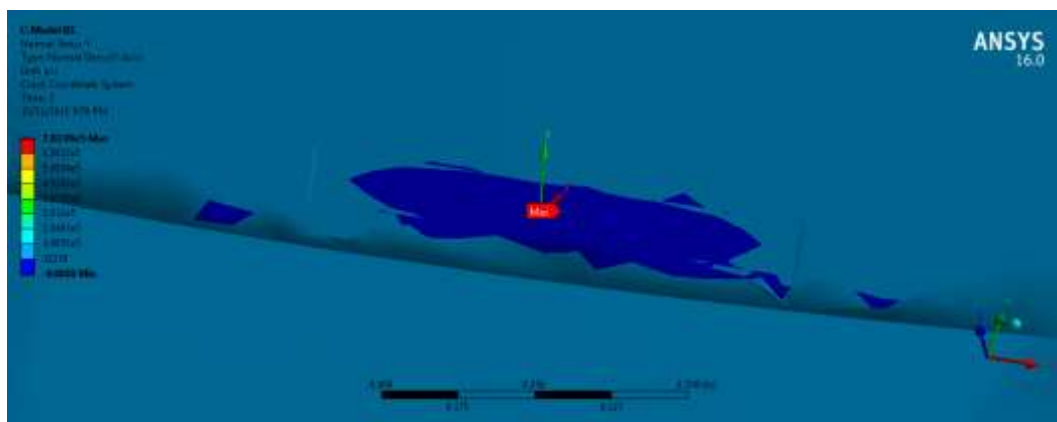
Dalam Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa pada setiap variasi *crack c*, nilai SIF selalu mengalami penurunan, sebanding dengan semakin kecilnya ukuran panjang retak (c). Dan sebaliknya terus meningkat pada variasi *crack a* sebagaimana ukuran kedalaman retak (a) yang semakin besar.

Sedangkan pada variasi pembebanan, nilai SIF pada Model A merupakan yang paling tinggi dibandingkan dengan Model B maupun Model C. Hal ini dikarenakan Model A memiliki pembebanan yang paling kompleks dengan adanya *force* dan *moment* seperti yang telah dijelaskan dalam Bab III. Dengan diketahuinya nilai SIF, nantinya dapat juga diketahui bagaimana tingkat kelelahan perambatan retak. Semakin besar nilai SIF akan menyebabkan tingkat perambatan retak yang semakin tinggi, sehingga struktur akan lebih cepat mengalami kegagalan.

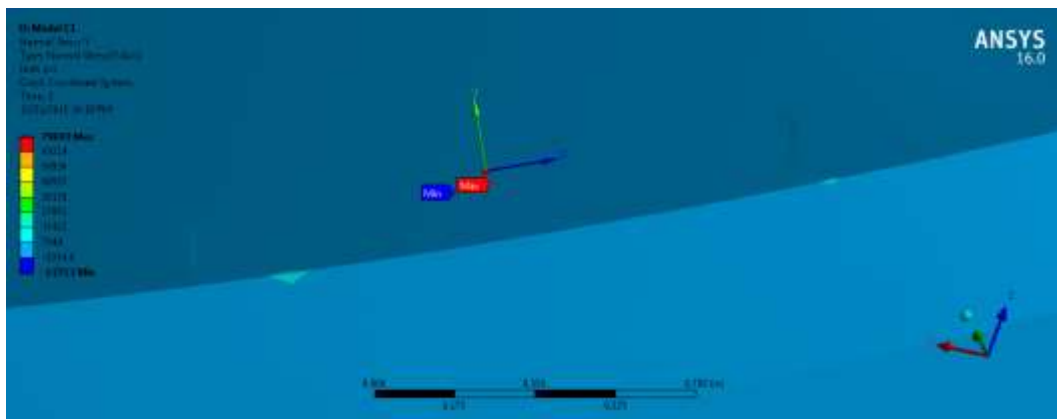
Dalam Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa *normal stress* yang terbesar adalah pada sumbu y. Dalam pemodelan *tubular joint* dengan variasi pembebanan A, sumbu y mengarah pada ketebalan *brace* seperti pada Gambar 4.7. Pada variasi pembebanan B, sumbu y juga mengarah pada ketebalan *brace* dan *weld* seperti pada Gambar 4.8. Sedangkan pada variasi pembebanan C, sumbu y mengarah pada ketebalan *chord* seperti pada Gambar 4.9. Sehingga arah perambatan retak yang terjadi sesuai dengan *normal stress* terbesar yaitu pada sumbu y.



**Gambar 4.7** Sistem Koordinat *Crack* pada Variasi Pembebanan A



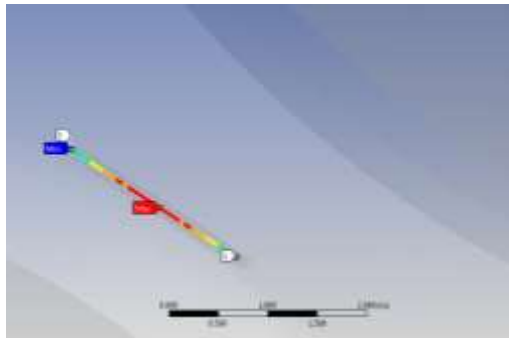
**Gambar 4.8** Sistem Koordinat *Crack* pada Variasi Pembebanan B



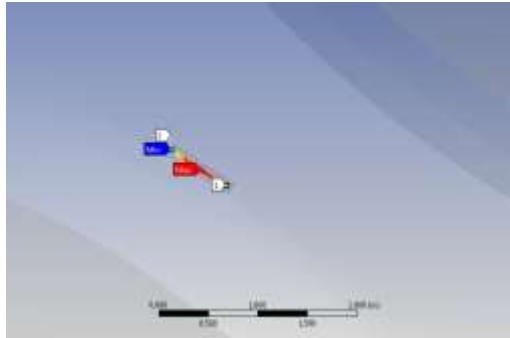
**Gambar 4.9** Sistem Koordinat *Crack* pada Variasi Pembebanan C

Gambar 4.10 menunjukkan hasil pemodelan *tubular joint* dengan *crack*, yaitu distribusi SIF untuk model A dengan variasi *crack c*. Selebihnya disajikan dalam Lampiran. Dalam Gambar 4.3 dapat diketahui posisi nilai SIF tertinggi dari

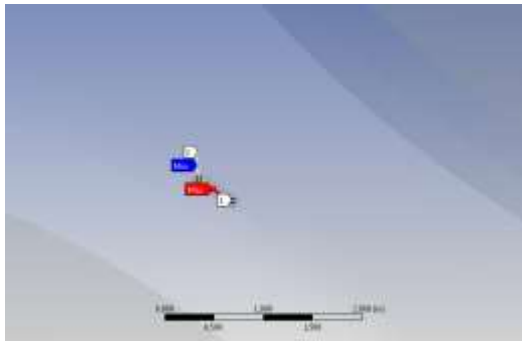
masing-masing model, dimana pada hampir semua model nilai SIF tertinggi berada pada bagian tengah *crack*.



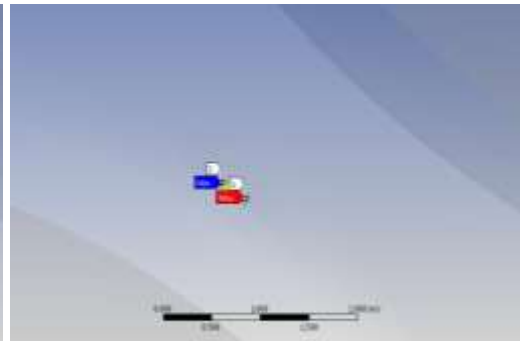
(a)



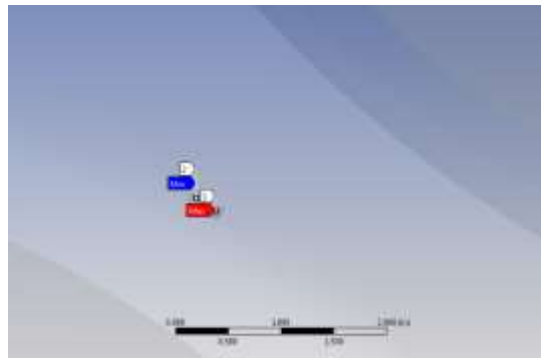
(b)



(c)



(d)



(e)

**Gambar 4.10** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multipplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari studi dan pembahasan yang dilakukan terhadap *Multiplanar tubular joint* pada kaki *Braced Caisson Well Platform* yang diberikan retak dan pembebanan yang bervariasi, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan geometri *tubular joint* yang sama, pada *crack* Mode I (*opening mode*), semakin besar parameter yang divariasikan, yaitu geometri *crack* dan pembebanan yang bekerja pada *tubular joint*, maka semakin besar nilai *Stress Intensity Factor* (SIF). Semakin besar ukuran *crack*, baik panjang retak maupun kedalaman retak, maka semakin besar pula nilai SIF. Semakin besar beban aksial tarik yang mempengaruhi *opening mode*, maka semakin besar pula nilai SIF. Nilai SIF terbesar adalah 32.858 psi $\sqrt{\text{in}}$  dengan variasi pembebanan A, panjang retak 0,5 in dan kedalaman retak 0,45 in.
2. Kondisi pembebanan yang paling kompleks dan geometri *crack* yang paling besar menyebabkan nilai SIF paling kritis. Karena semakin besar nilai SIF akan menyebabkan tingkat perambatan retak yang semakin tinggi, sehingga struktur akan lebih cepat mengalami kegagalan.

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menambahkan parameter yang lebih bervariasi seperti menggunakan material yang berbeda, geometri *tubular joint* yang berbeda atau memvariasikan sudut-sudut antara *brace* dan *chord*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mukhtar, A. M., et al. 2009. "A Finite Element Calculation of Stress Intensity Factors of Cruciform and Butt Welded Joints for Some Geometrical Parameters". **Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering**, Vol 3, December.
- Annastia, R. P. 2005. **Analisa Umur Kelelahan Tubular Joint Tipe T yang Memiliki Retak Semi Elliptical pada Chord dengan Metode Linear Elastic Fracture Mechanics**. Tugas Akhir Jurusan Teknik kelautan ITS. Surabaya.
- Barsom, J. M., dan Rolfe, S.T. 1999. **Fracture and Fatigue Control in Structures, Third Edition**. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Bowness, D., dan Lee, M. M. K. 1994. **Fatigue Crack Curvature Under The Weld Toe in a Tubular Joint - Tubular Structure IV**. Rotterdam.
- Broek, D. 1987. **Elementary Engineering Fracture Mechanics**. Netherlands: Martinus Nijhoff Publisher.
- Lassen, T., dan Naman R. 2006. **Fatigue Life Analyses of Welded Structures**. London: ISTE Ltd.
- Lee, M., dan Dexter, E. 2004. "Finite-Element Modelling of Multiplanar Offshore Tubular Joints". **Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering**, Vol 126, March.
- Maddox, S. J. 1999. **Fatigue Strength of Welded Structures**. England: Abington Publishing.
- Murthy, D. S., et al. 1993. "A Model for Fatigue Life Prediction of Offshore Welded Stiffened Steel Tubular Joint Using FM Approach". **Proceedings of the Third International Offshore and Polar Engineering Conference**,

June 6-11, 1993. International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), USA, Vol. IV, 117-124.

Murthy, D. S., et al. 2004. "An Efficient FE Modelling Strategy for Fracture Analysis of Tubular Joints". **Journal Structural Engineering Research Centre**, Vol 85, May.

Seetharaman, S., et al. 1993. "Fatigue Life Prediction of Offshore Tubular Joints". **Proceedings of the Third International Offshore and Polar Engineering Conference**, June 6-11, 1993. International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), USA, Vol. IV, 70-73.

Siswosuwarno, M., dan Ichsan S. P. 1987. **Penerapan Fracture Mechanics pada Prediksi Umur Kelelahan**. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Stoychev, S., dan Kujawski, D. 2008. "Crack-tip Stresses and Their Effects on Stress Intensity Factor for Crack Propagation". **Engineering Fracture Mechanics**, 75, 2469-2479.

Wendarta, M. 2005. **Analisa Umur Kelelahan Tubular Joint Tipe T yang Memiliki Retak Through Thickness pada Chord dengan Metode Linear Elastic Fracture Mechanics**. Tugas Akhir Jurusan Teknik kelautan ITS. Surabaya.

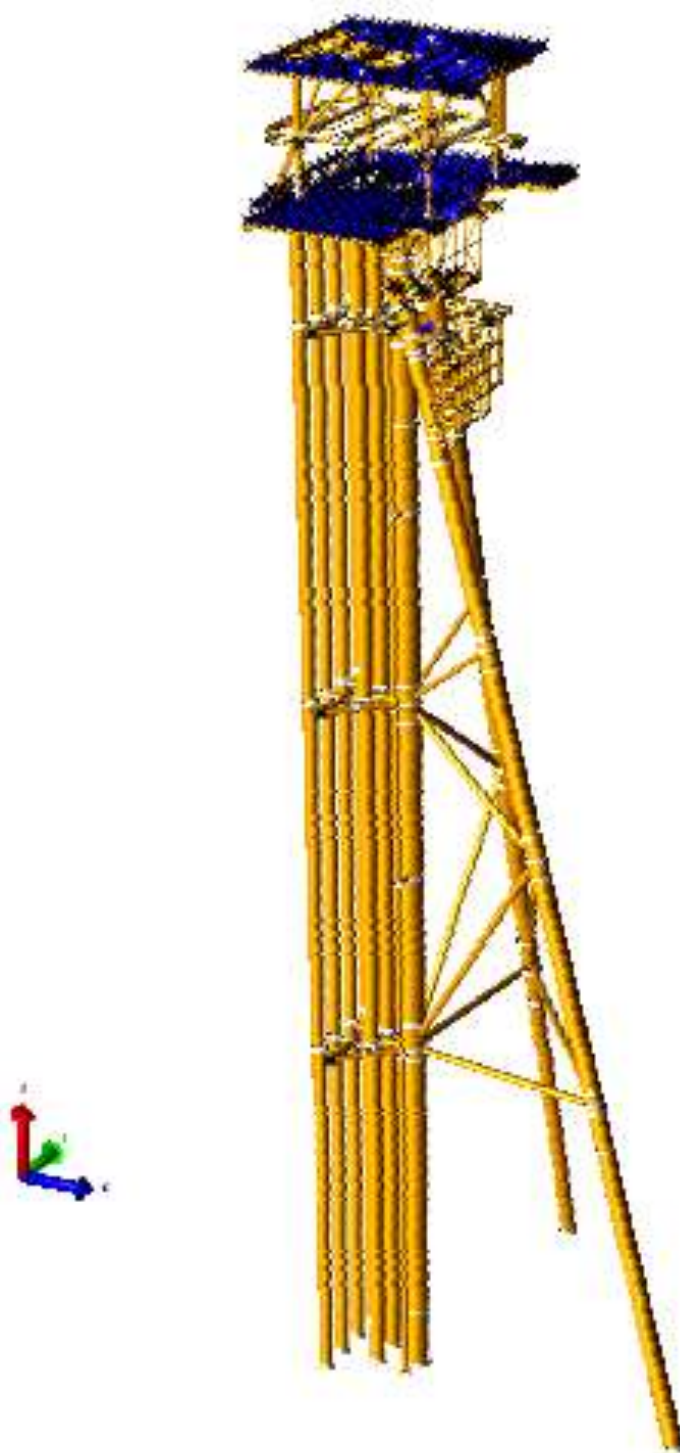
# **LAMPIRAN A**

## **DATA AWAL**

# **LAMPIRAN A.1**

*PLATFORM - ISOMETRIC VIEW*

Active Structure

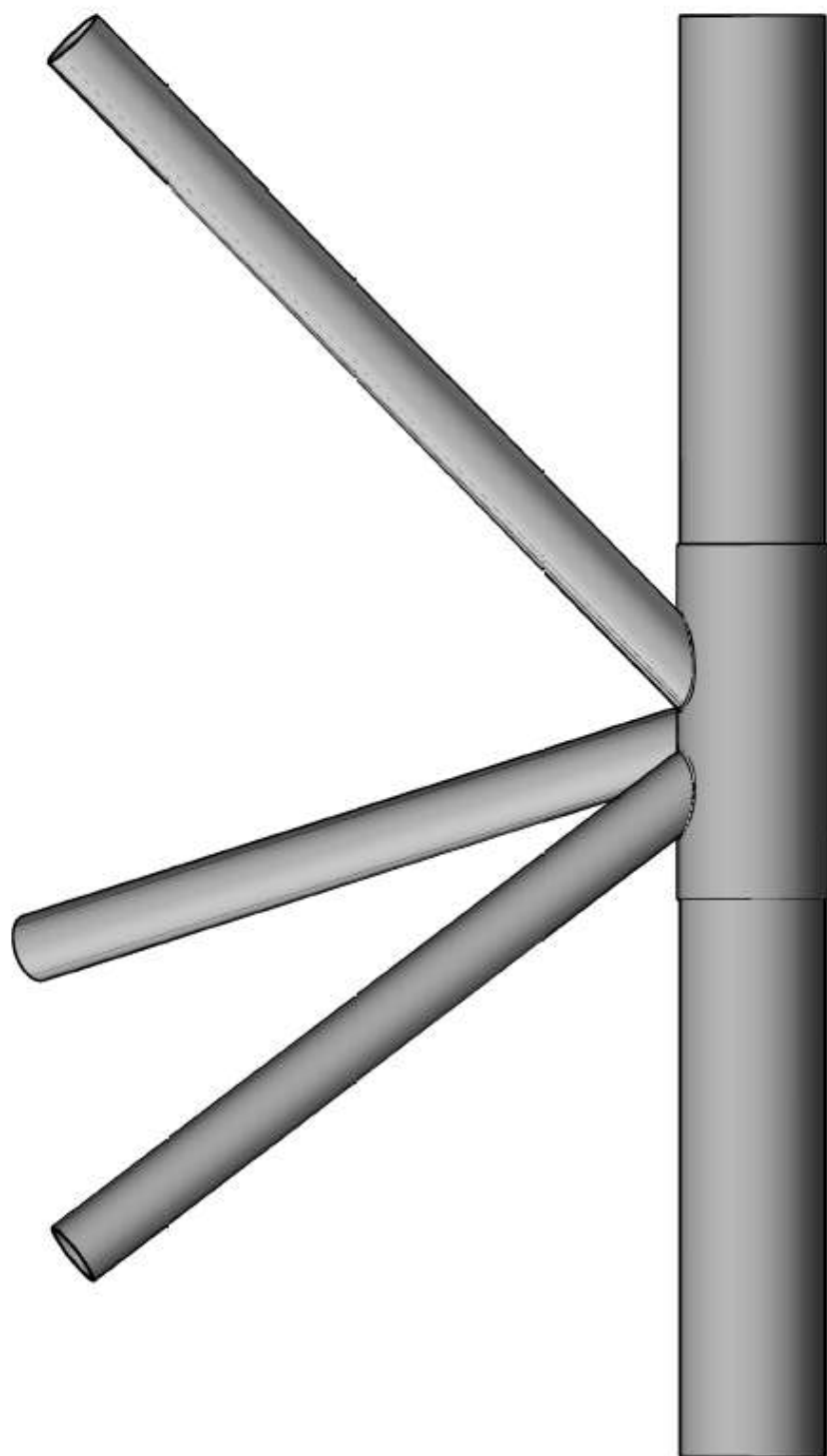


Active Structure



# **LAMPIRAN A.2**

## **STRUKTUR LOKAL**





# **LAMPIRAN A.3**

## **DATA GEOMETRI DAN MATERIAL**

### **Geometri *Multi-planar Tubular Joint***

|                  | <i>Thickness (<b>t</b>)</i><br>(in) | <i>Outside Diameter (<b>OD</b>)</i><br>(in) | <i>Inside Diameter (<b>ID</b>)</i><br>(in) | <i>Length (<b>L</b>)</i><br>(in) |
|------------------|-------------------------------------|---|--|----------------------------------|
| <i>Chord</i>     | 0,5                                 | 39  | 38   | 390                              |
| <i>Joint Can</i> | 1,25                                | 40,5  | 38   | 96                               |
| <i>Brace A</i>   | 0,75                                | 18  | 16,5                                       | 224,38                           |
| <i>Brace B</i>   | 0,5                                 | 18  | 17   | 235                              |
| <i>Brace C</i>   | 0,5                                 | 18  | 17   | 248,31                           |

### ***Material Properties* pada *Multi-planar Tubular Joint***

| <i>Spec &amp; Grade</i> | <i>Yield Strength <b><math>\sigma_y</math></b></i><br>( <i>ksi</i> ) | <i>Mod Young <b>E</b></i><br>( <i>ksi</i> ) | <i>Shear Modulus <b>G</b></i><br>( <i>ksi</i> ) | <i>Poisson's Ratio <b><math>\nu</math></b></i> |
|-------------------------|--|---|---|--|
| API 2H Grade<br>50      | 50   | 29  | 11,6  | 0,3  |

# **LAMPIRAN B**

## **VARIASI PEMODELAN**

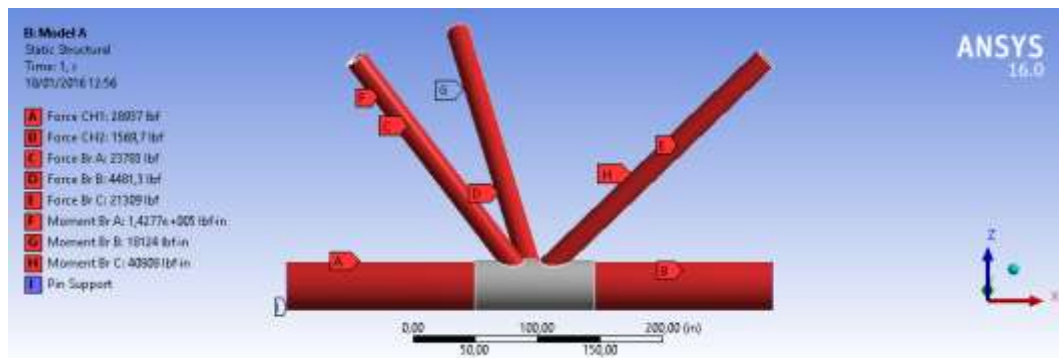
# **LAMPIRAN B.1**

## **VARIASI BEBAN**

## MODEL A

**Tabel B1.1** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model A

| Member | Moment (lbf-in) |            |            | Force (lbf) |            |         |
|--------|-----------------|------------|------------|-------------|------------|---------|
|        | x               | y          | z          | x           | y          | z       |
| Ch 1   | 95.487,96       | -51.970,72 | 49.720,29  | -141,62     | 28.935,46  | -279,95 |
| Ch 2   | 83.378,63       | -44.194,39 | 62.258,65  | 118,24      | -1.556,8   | 162,27  |
| JC 1   | 287.080         | -135.550   | 148.280    | -346,7      | 75.240     | -730,4  |
| JC 2   | 278.200         | -132.910   | 202600     | 344,78      | -4.480,8   | 489,6   |
| Br A   | 139.674,5       | -24.881,56 | -15.963,08 | -65,66      | -23.778,82 | 430,85  |
| Br B   | 10.747,01       | 4.906,19   | 13.744,96  | -85,83      | -4.479,7   | -83,97  |
| Br C   | -37.958,82      | 14.408,91  | 4.099,66   | -50,13      | 21.309,02  | 97,41   |

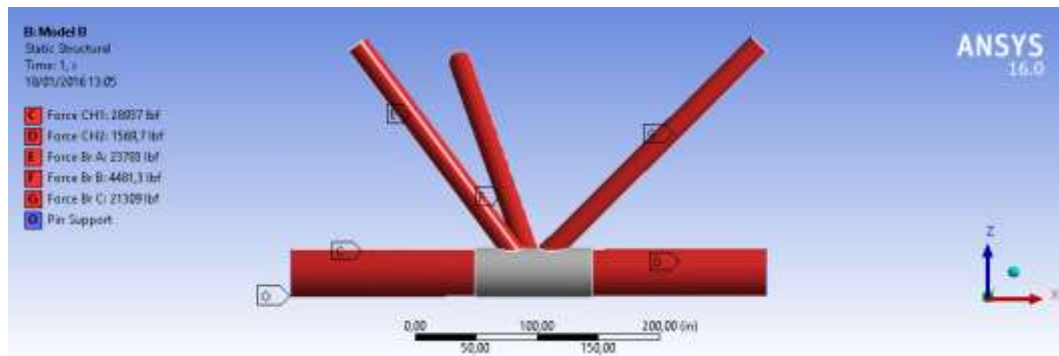


**Gambar B1.1** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model A

## MODEL B

**Tabel B1.2** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model B

| Member | Force (lbf) |            |         |
|--------|-------------|------------|---------|
|        | x           | y          | z       |
| Ch 1   | -141,62     | 28.935,46  | -279,95 |
| Ch 2   | 118,24      | -1.556,8   | 162,27  |
| JC 1   | -346,7      | 75.240     | -730,4  |
| JC 2   | 344,78      | -4.480,8   | 489,6   |
| Br A   | -65,66      | -23.778,82 | 430,85  |
| Br B   | -85,83      | -4.479,7   | -83,97  |
| Br C   | -50,13      | 21.309,02  | 97,41   |

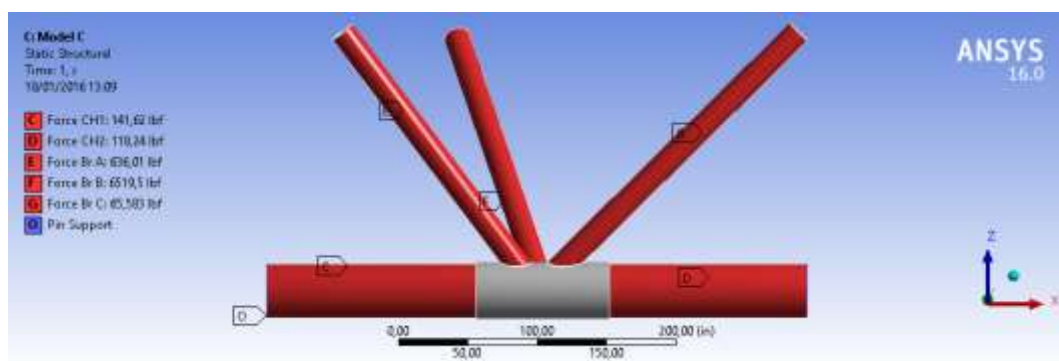


**Gambar B1.2** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model B

## MODEL C

**Tabel B1.3** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model C

| <i>Member</i> | <i>Axial Force</i><br>(lbf) |
|---------------|-----------------------------|
| Ch 1          | -141.62                     |
| Ch 2          | 118.24                      |
| JC 1          | -346.7                      |
| JC 2          | -344.78                     |
| Br A          | 636.01                      |
| Br B          | 6519.5                      |
| Br C          | 65.583                      |

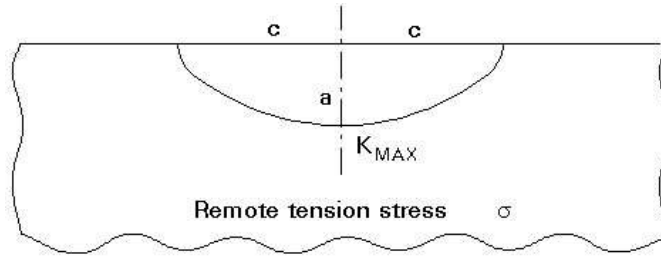


**Gambar B1.3** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model C

# **LAMPIRAN B.2**

**VARIASI *CRACK***





**Gambar B2.1** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

**Tabel B2.1** *Geometri Surface Crack (Semi Elliptical)- Variasi c*

|         | $a/2c$ | $a$ (in) | $c$ (in) |
|---------|--------|----------|----------|
| Model 1 | 0,05   | 0,1      | 1,000    |
| Model 2 | 0,15   | 0,1      | 0,333    |
| Model 3 | 0,25   | 0,1      | 0,2      |
| Model 4 | 0,35   | 0,1      | 0,143    |
| Model 5 | 0,45   | 0,1      | 0,111    |

**Tabel B2.2** *Geometri Surface Crack (Semi Elliptical)- Variasi a*

|         | $a/2c$ | $a$ (in) | $c$ (in) |
|---------|--------|----------|----------|
| Model 1 | 0,05   | 0,05     | 0,5      |
| Model 2 | 0,15   | 0,15     | 0,5      |
| Model 3 | 0,25   | 0,25     | 0,5      |
| Model 4 | 0,35   | 0,35     | 0,5      |
| Model 5 | 0,45   | 0,45     | 0,5      |

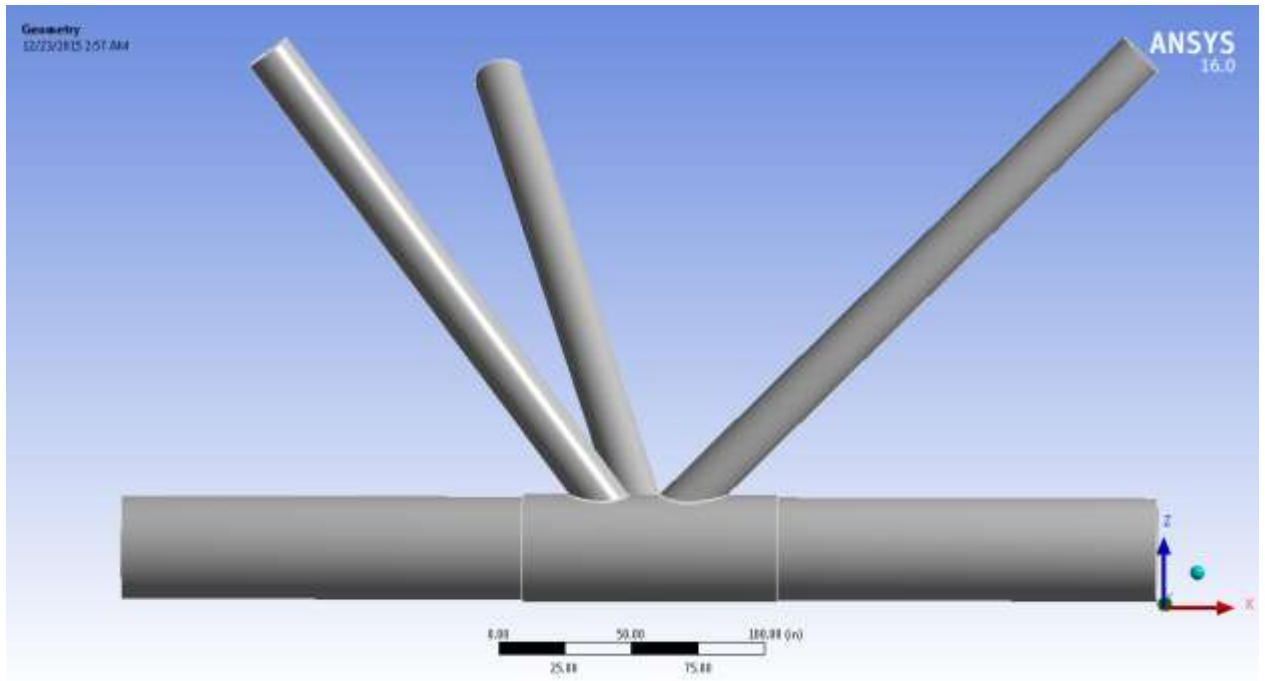
# **LAMPIRAN C**

## **HASIL PEMODELAN DASAR**

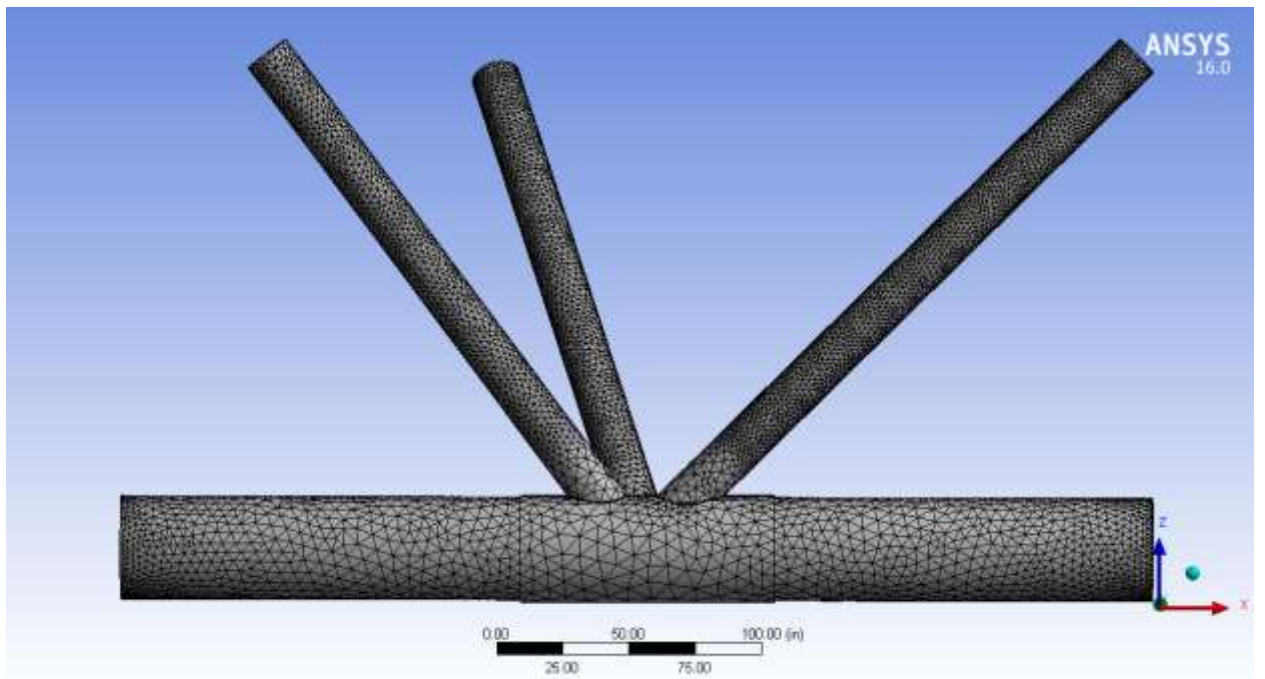
# **LAMPIRAN C.1**

MODEL A

## GEOMETRI DAN *MESH*

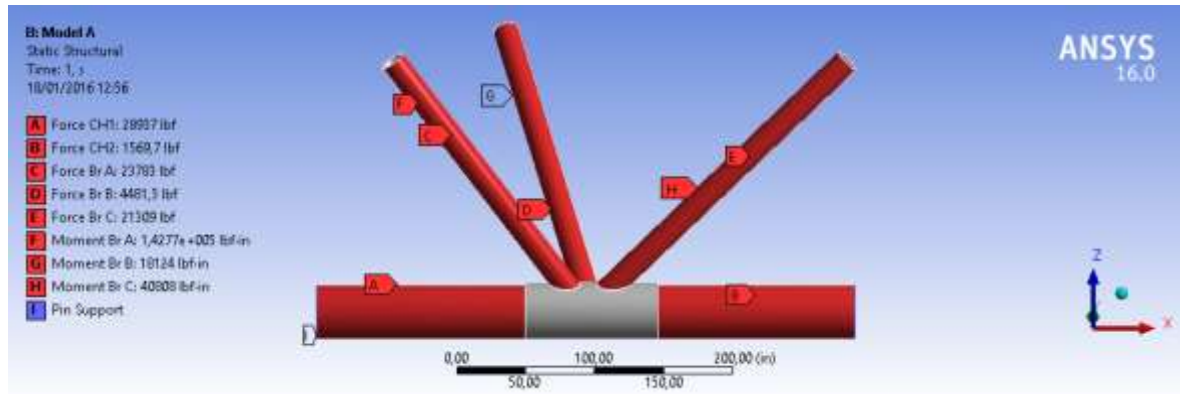


**Gambar C1.1** Model A - Geometri *Multiplanar Tubular Joint*

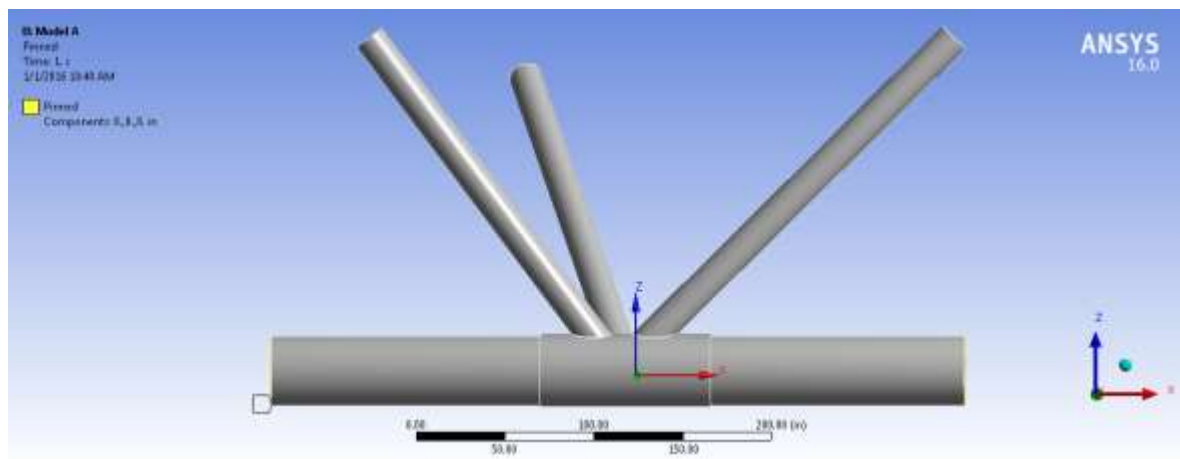


**Gambar C1.2** Model A – *Mesh* pada *Multiplanar Tubular Joint*

## PEMBEBANAN DAN KONDISI BATAS

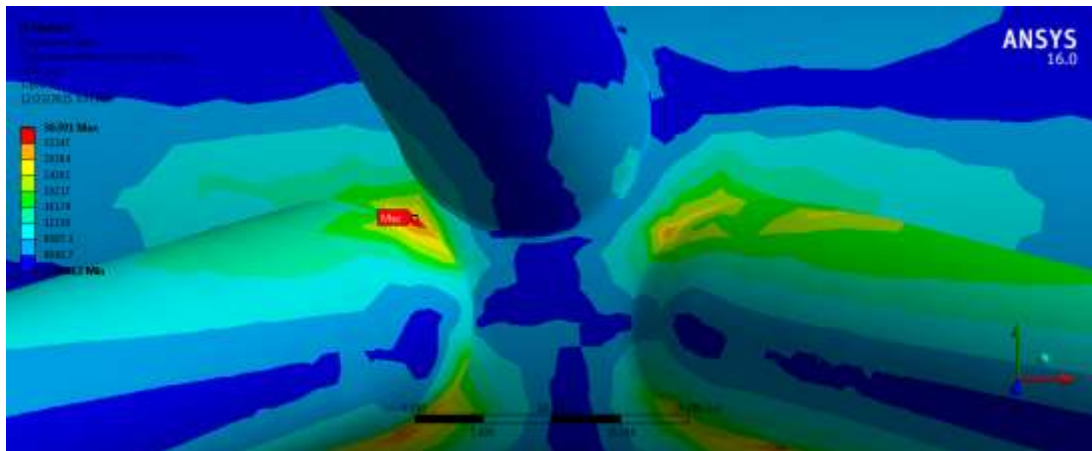


**Gambar C1.3** Model A – Pembebanan pada *Multiplanar Tubular Joint*

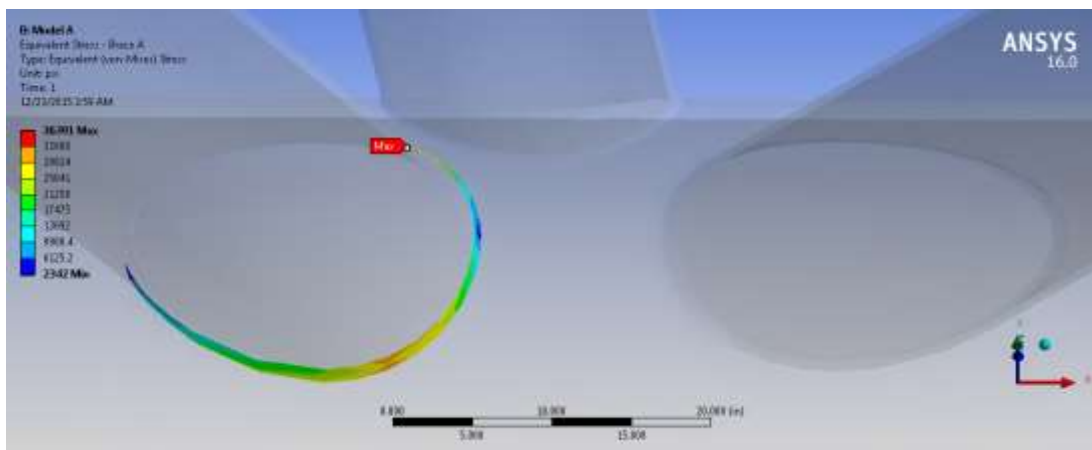


**Gambar C1.4** Model A – Kondisi Batas pada *Multiplanar Tubular Joint*

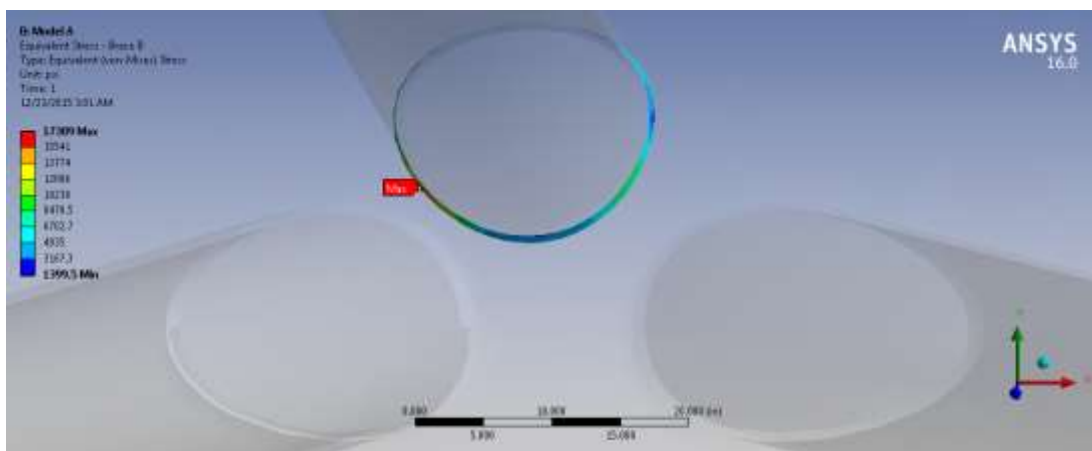
## ***EQUIVALENT STRESS (von Mises)***



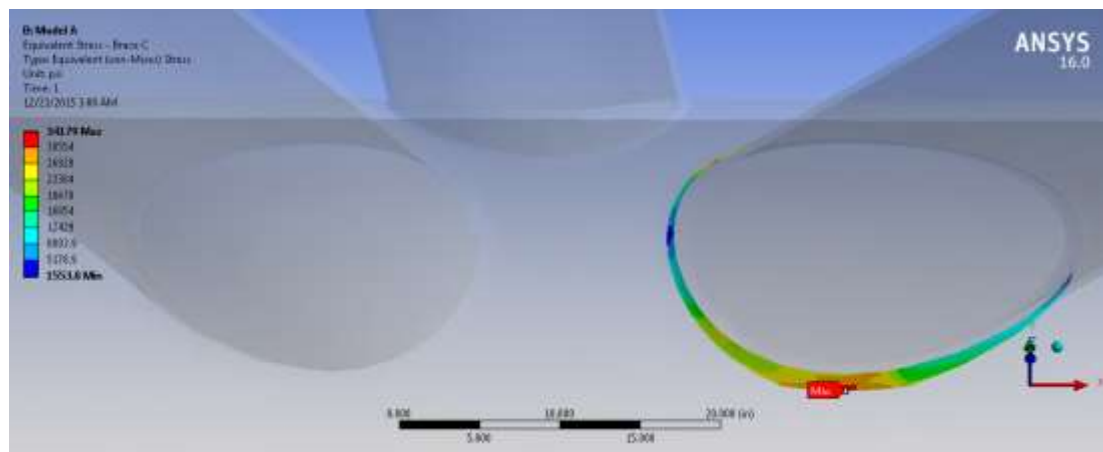
**Gambar C1.5** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model A



**Gambar C1.6** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model A – Brace A

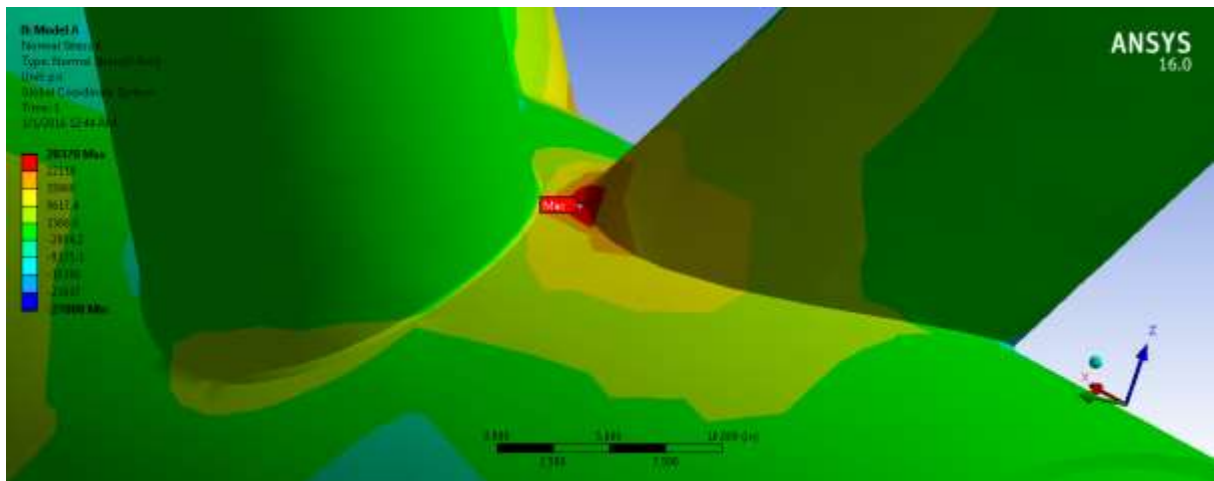


**Gambar C1.7** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model A – Brace B

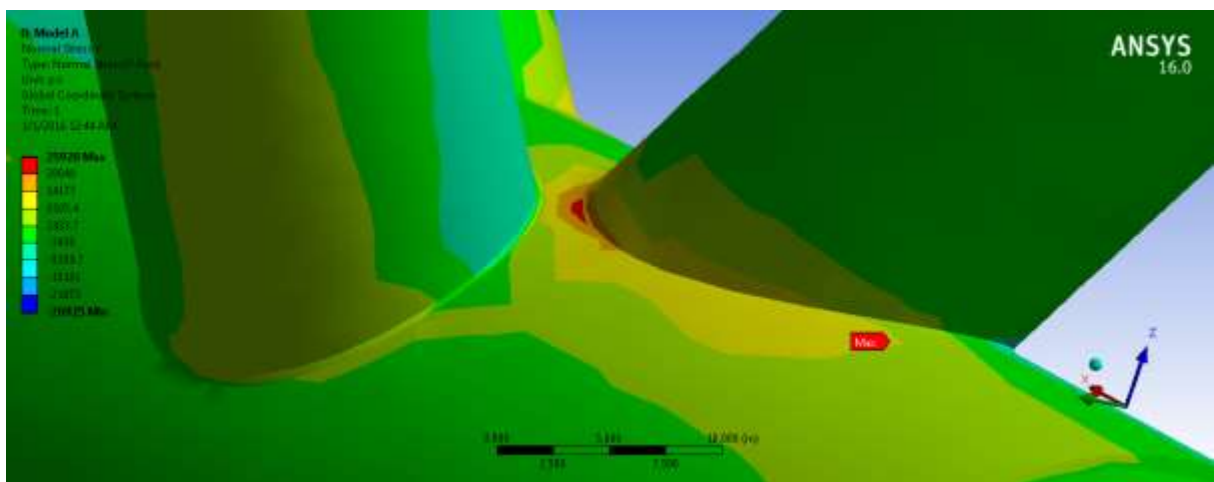


**Gambar C1.8** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint*  
 - Model A – Brace C

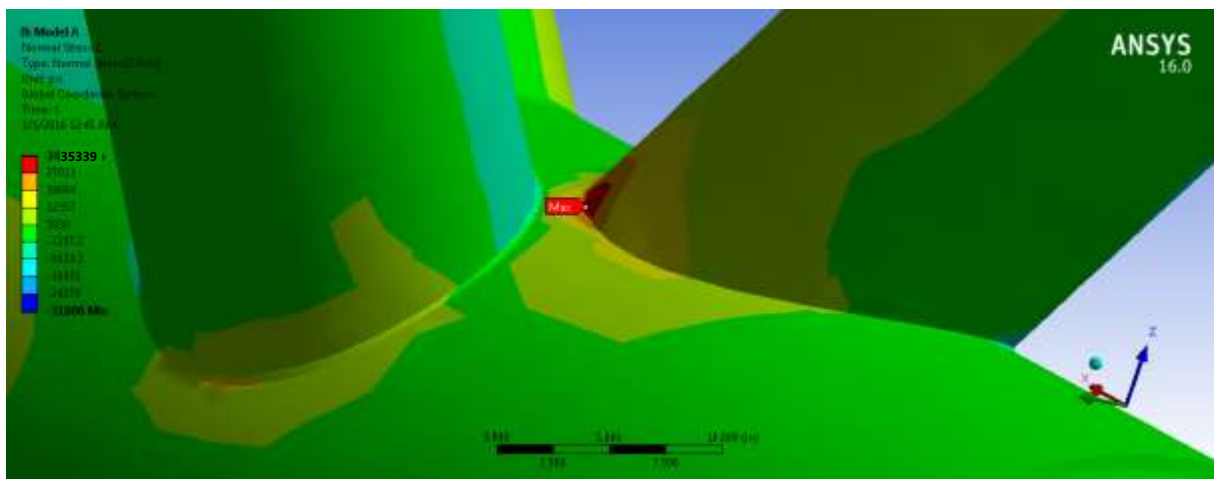
## ***NORMAL STRESS***



**Gambar C1.9** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model A – X Axis



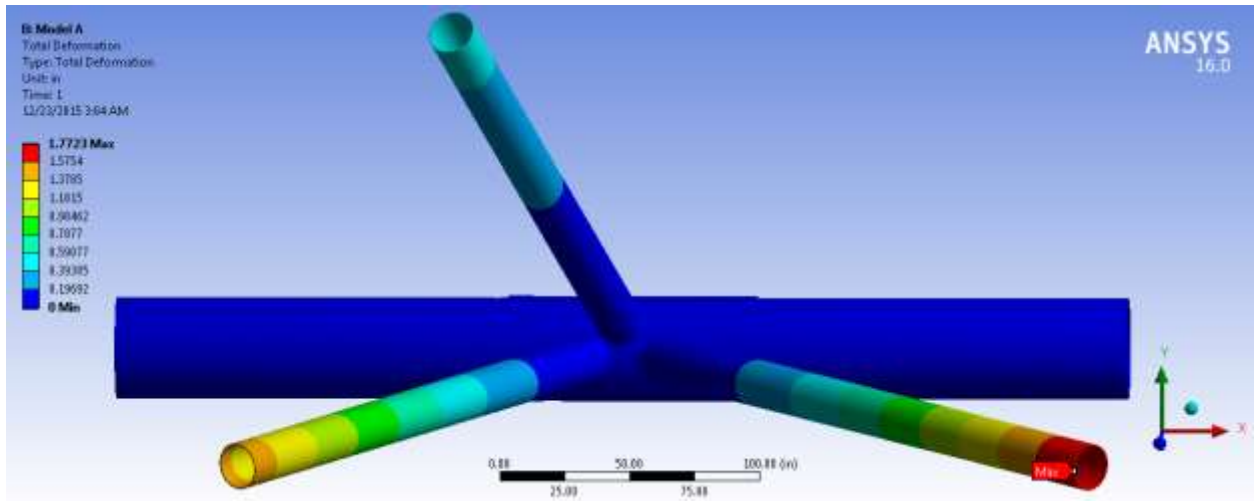
**Gambar C1.10** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model A – X Axis



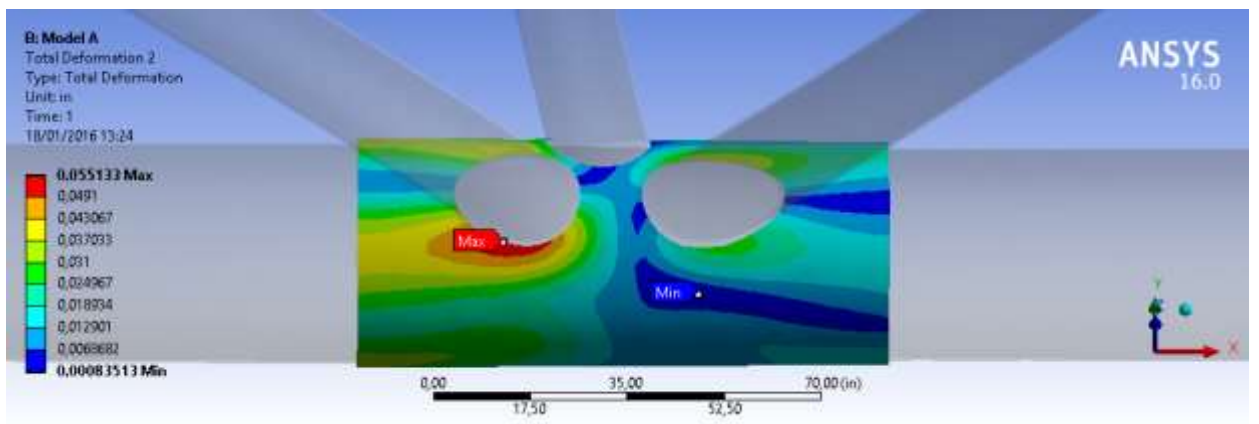
**Gambar C1.11** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model A – X Axis



## ***TOTAL DEFORMATION***



**Gambar C1.12** *Total Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model A*

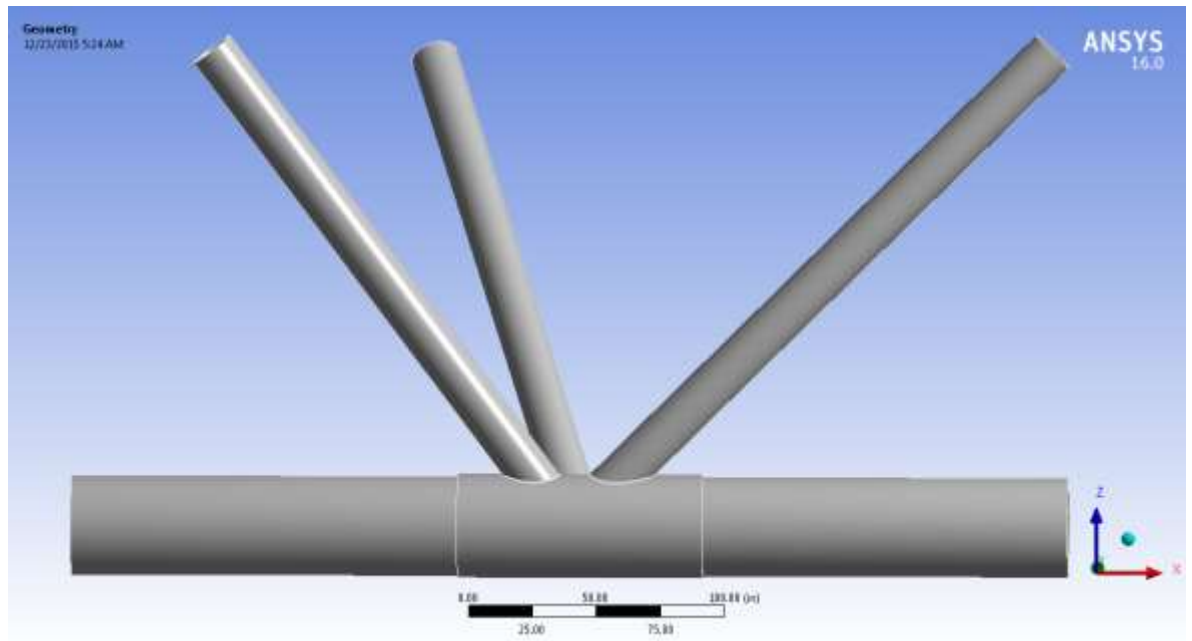


**Gambar C1.13** *Local Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model A*

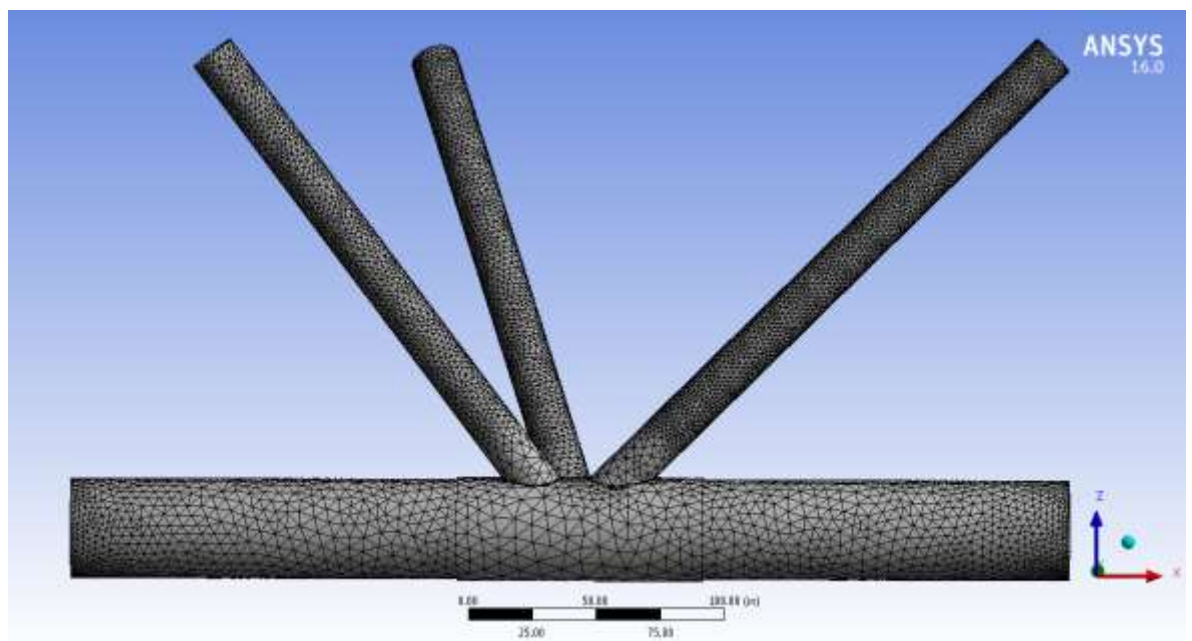
# **LAMPIRAN C.2**

**MODEL B**

## GEOMETRI DAN *MESH*

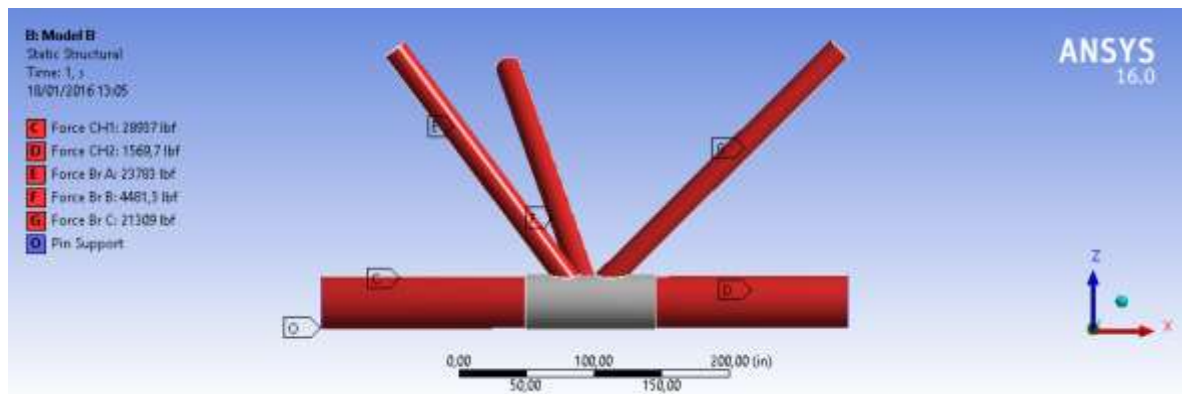


**Gambar C2.1** Model B - Geometri *Multiplanar Tubular Joint*

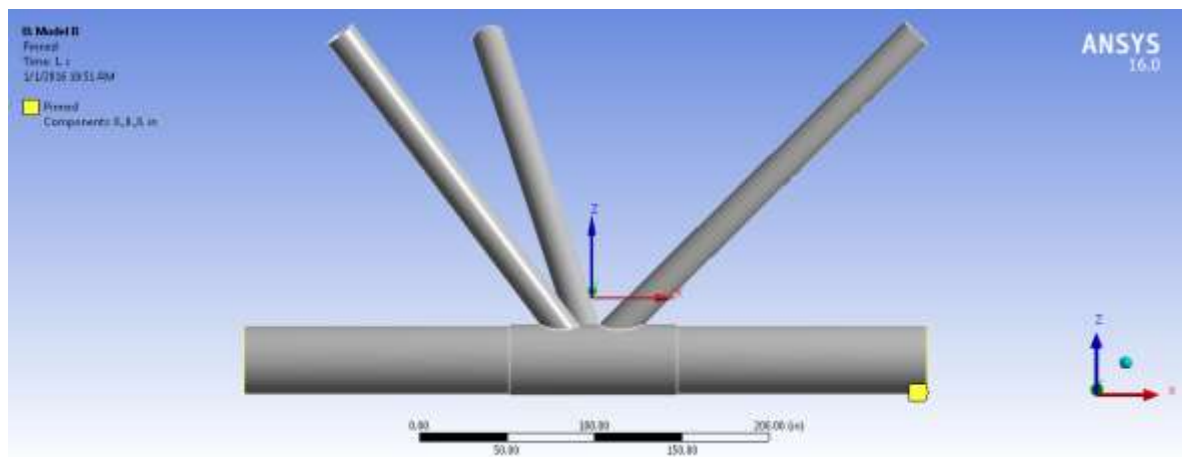


**Gambar C2.2** Model B – *Mesh* pada *Multiplanar Tubular Joint*

## PEMBEBANAN DAN KONDISI BATAS

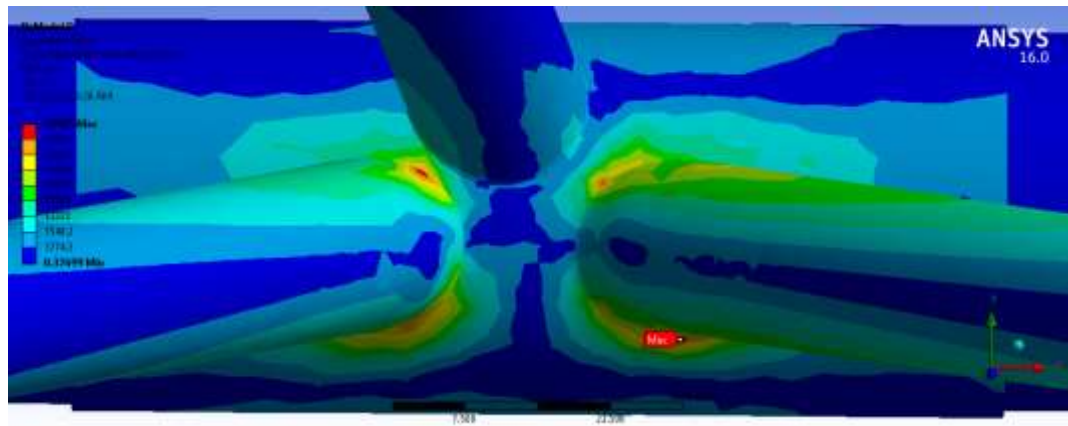


**Gambar C2.3** Model B – Pembebanan pada *Multiplanar Tubular Joint*

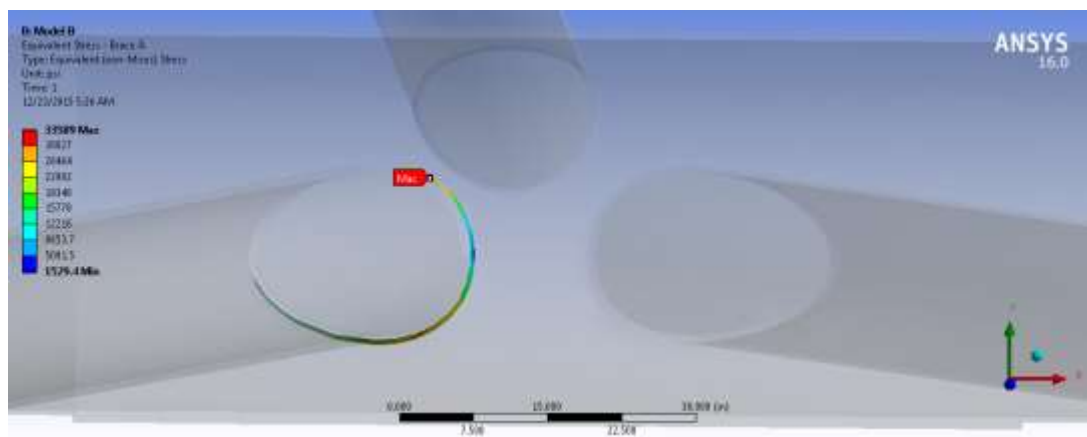


**Gambar C2.4** Model B – Kondisi Batas pada *Multiplanar Tubular Joint*

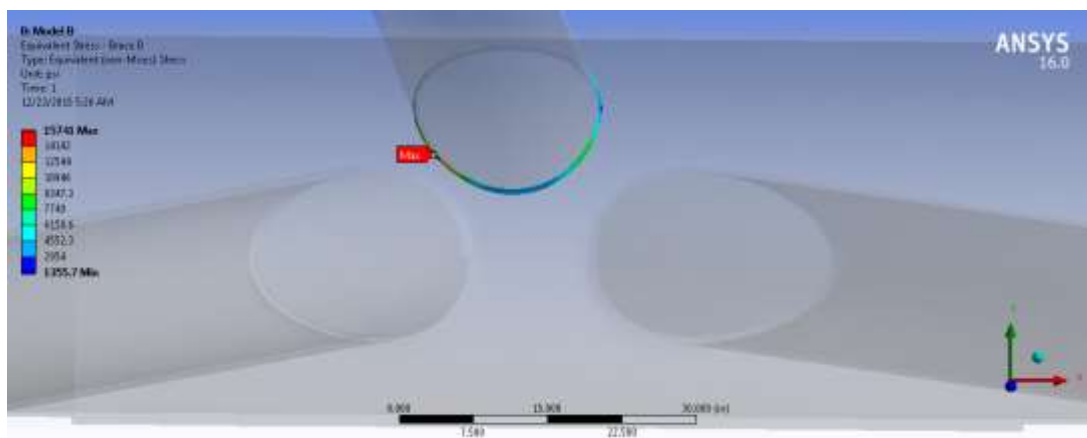
## ***EQUIVALENT STRESS (von Mises)***



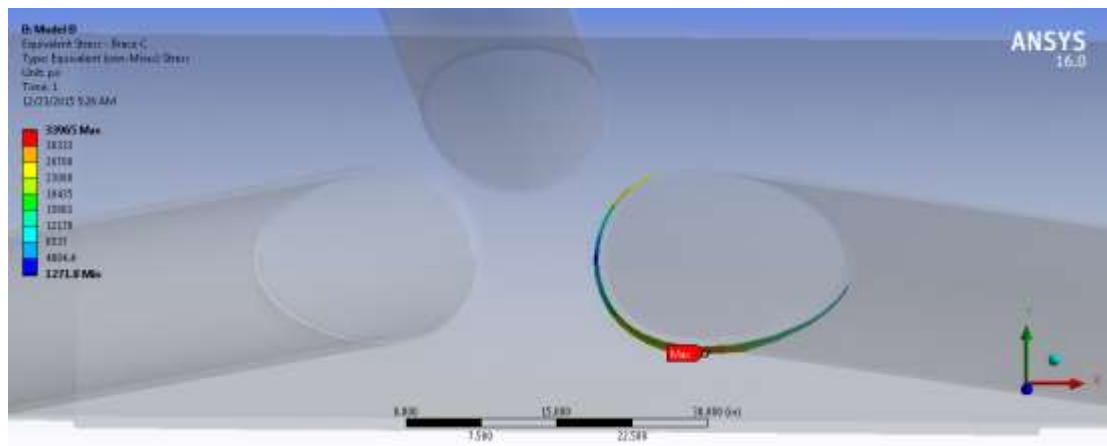
**Gambar C2.5** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model B



**Gambar C2.6** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model B – Brace A

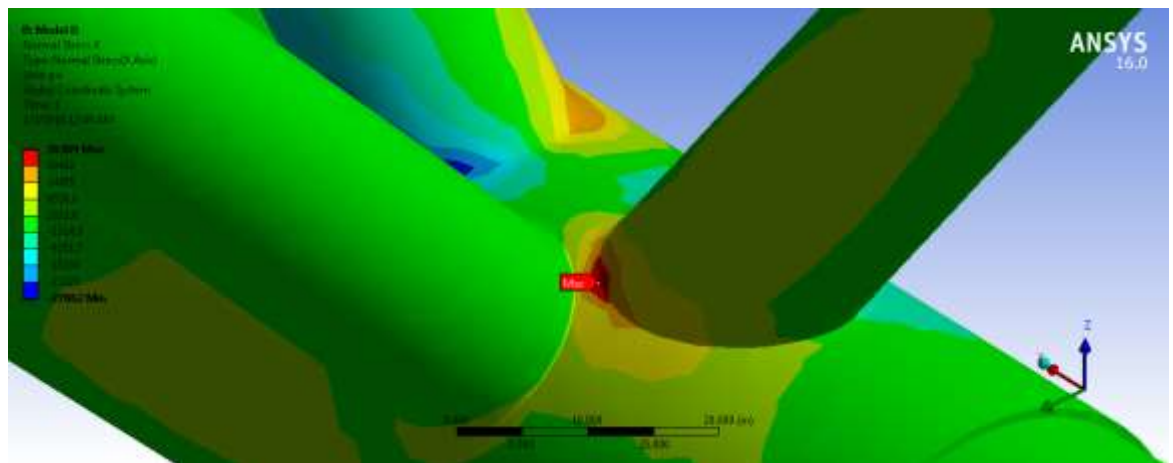


**Gambar C2.7** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model B – Brace B

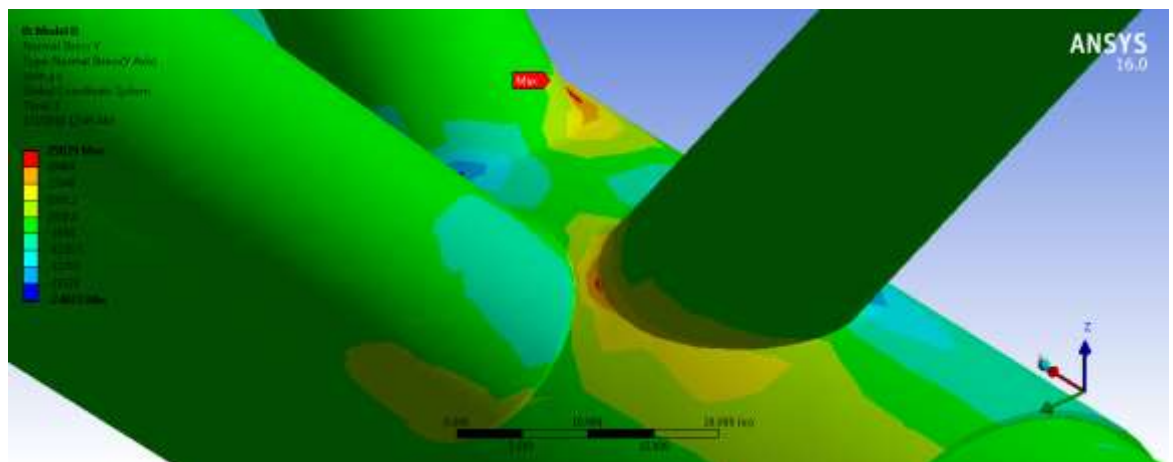


**Gambar C2.8** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model B – Brace C

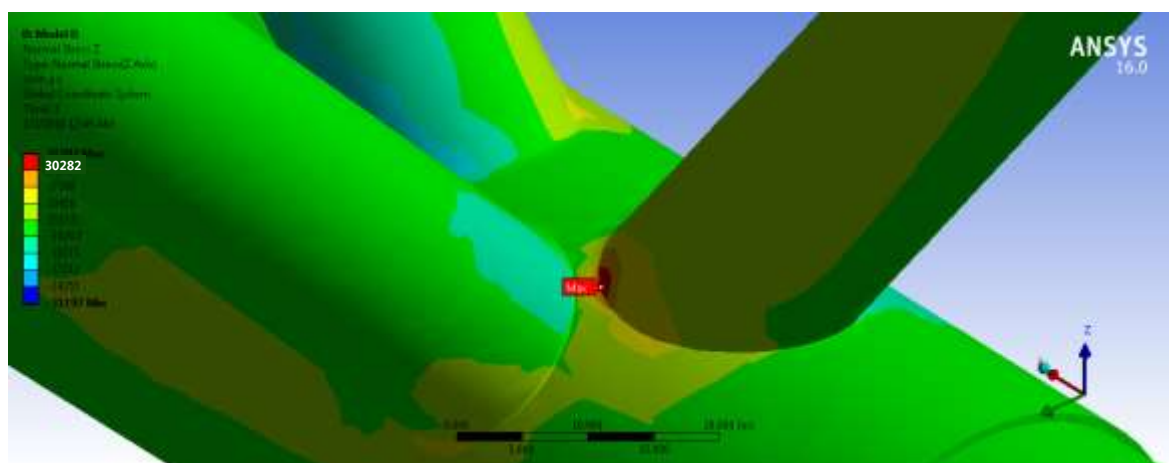
## ***NORMAL STRESS***



**Gambar C2.9** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model B – X Axis



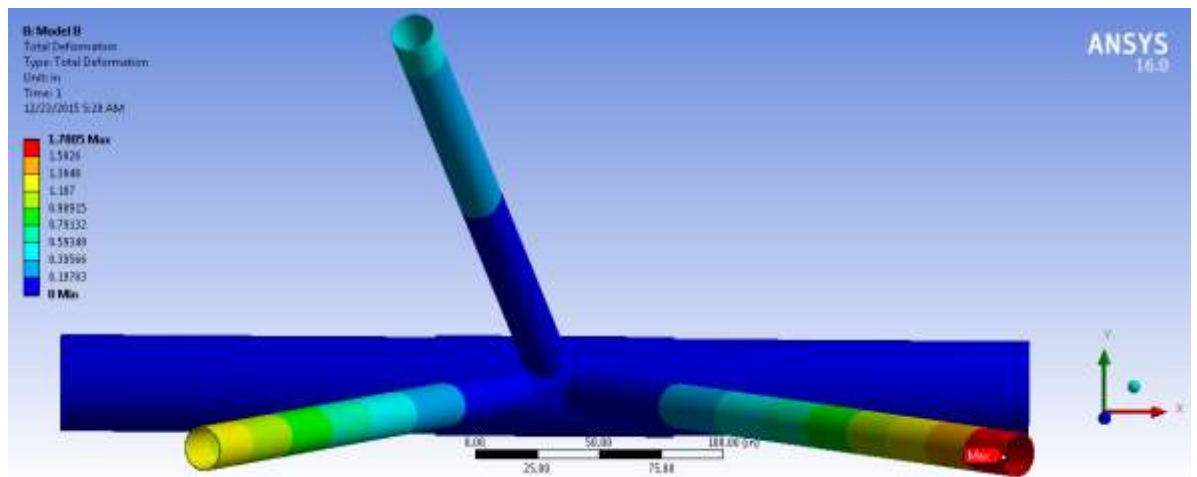
**Gambar C2.10** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model B – X Axis



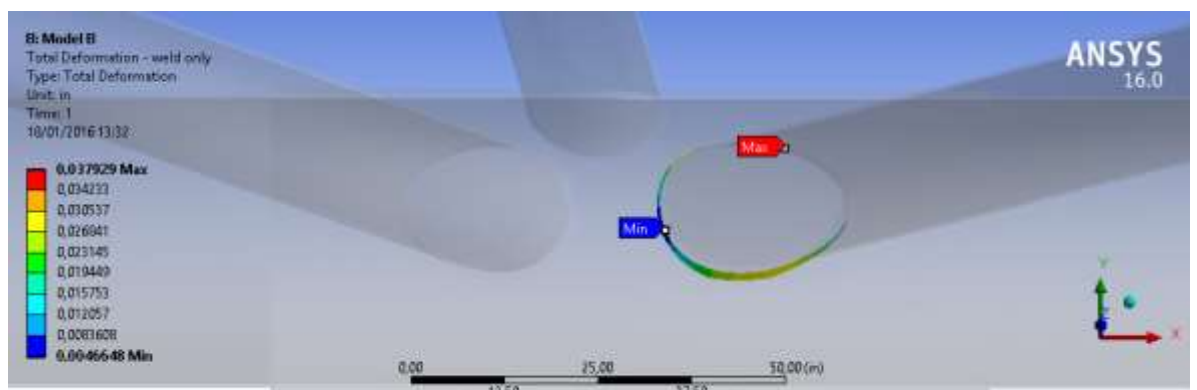
**Gambar C2.11** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model B – X Axis



## TOTAL DEFORMATION



Gambar C2.12 Total Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model B



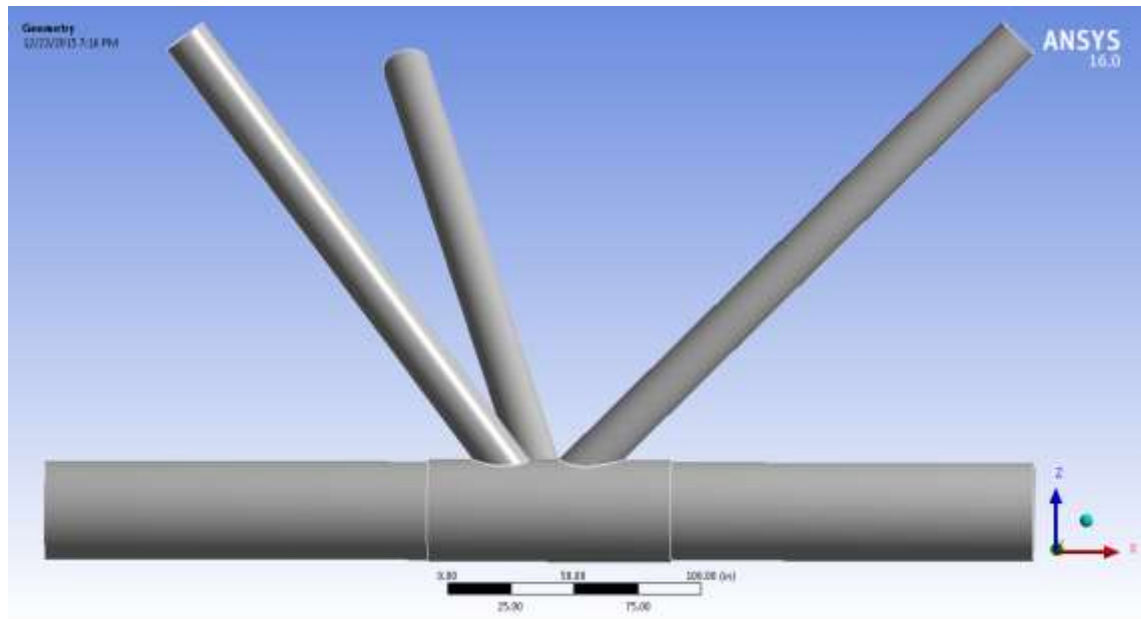
Gambar C2.13 Local Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model B



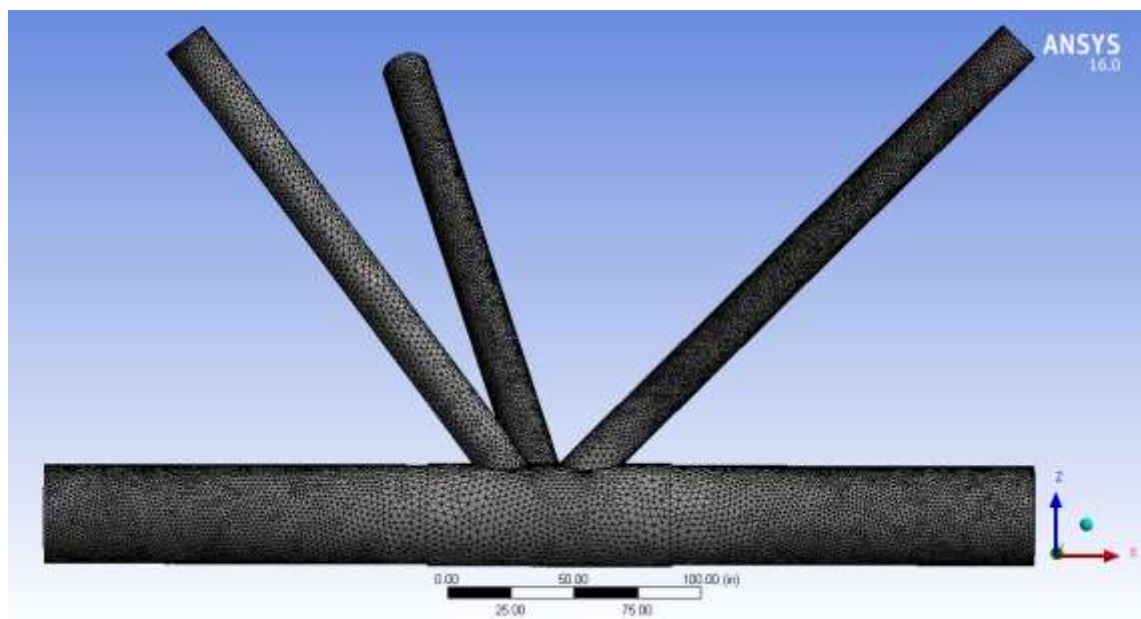
# **LAMPIRAN C.3**

MODEL C

## GEOMETRI DAN *MESH*

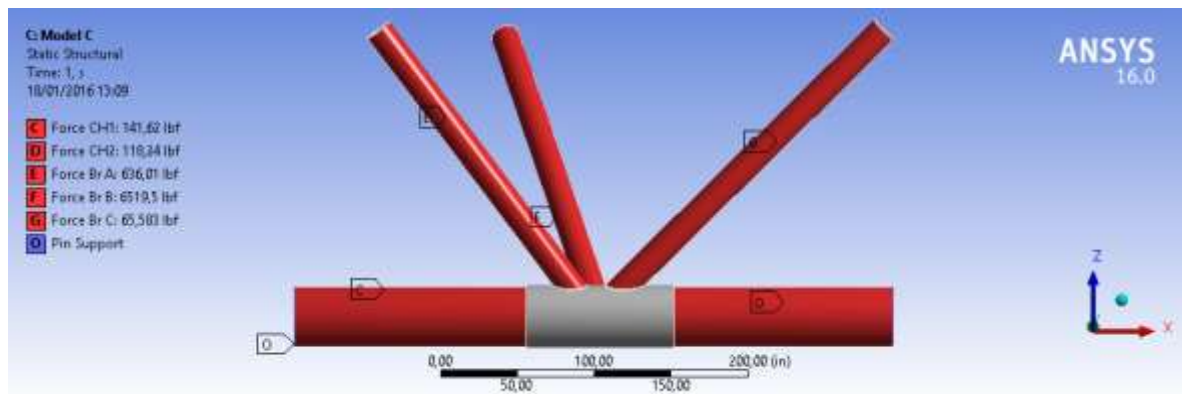


**Gambar C3.1** Model C - Geometri *Multiplanar Tubular Joint*

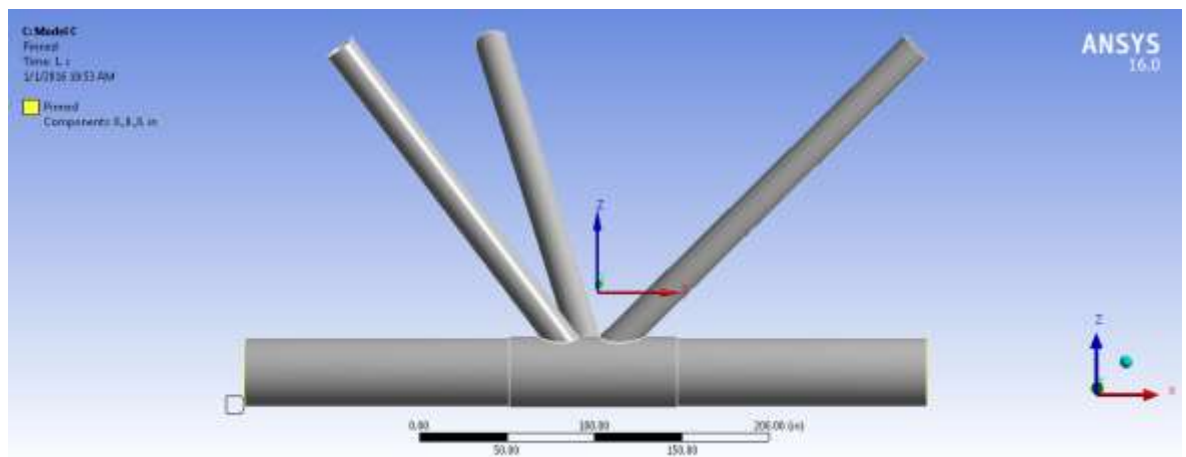


**Gambar C3.2** Model C – *Mesh* pada *Multiplanar Tubular Joint*

## PEMBEBANAN DAN KONDISI BATAS

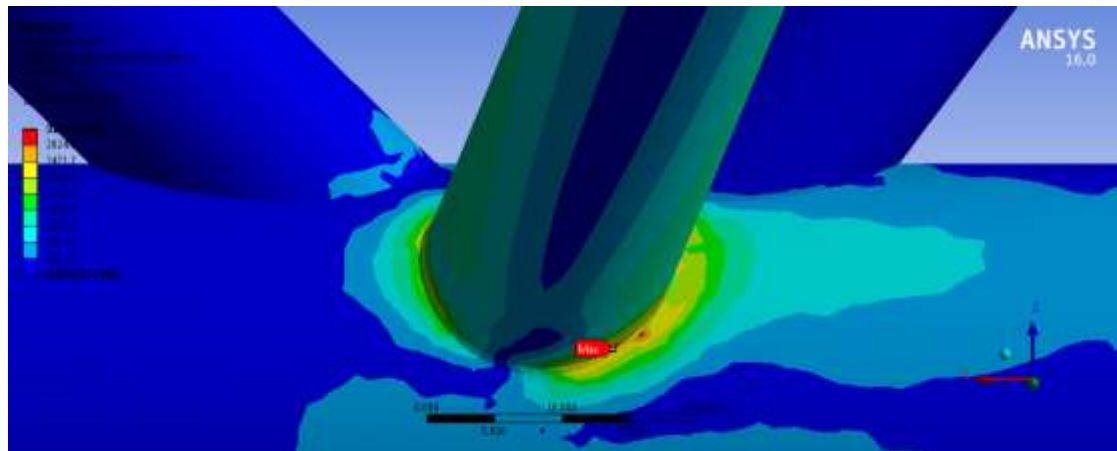


**Gambar C3.3** Model C – Pembebanan pada *Multiplanar Tubular Joint*

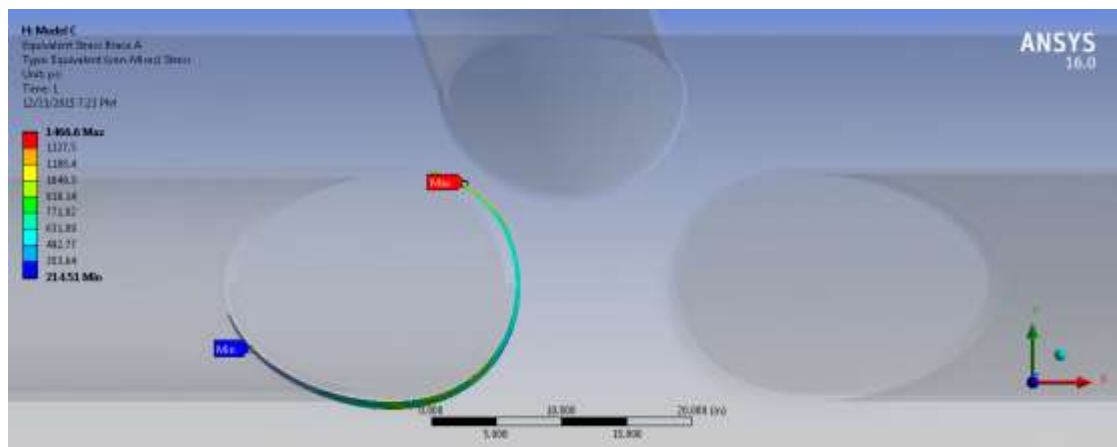


**Gambar C3.4** Model C – Kondisi Batas pada *Multiplanar Tubular Joint*

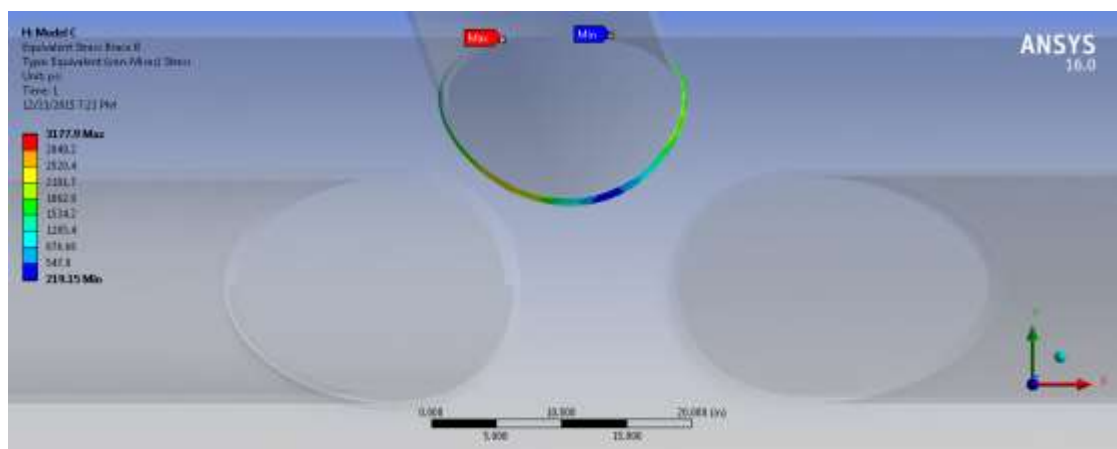
## ***EQUIVALENT STRESS (von Mises)***



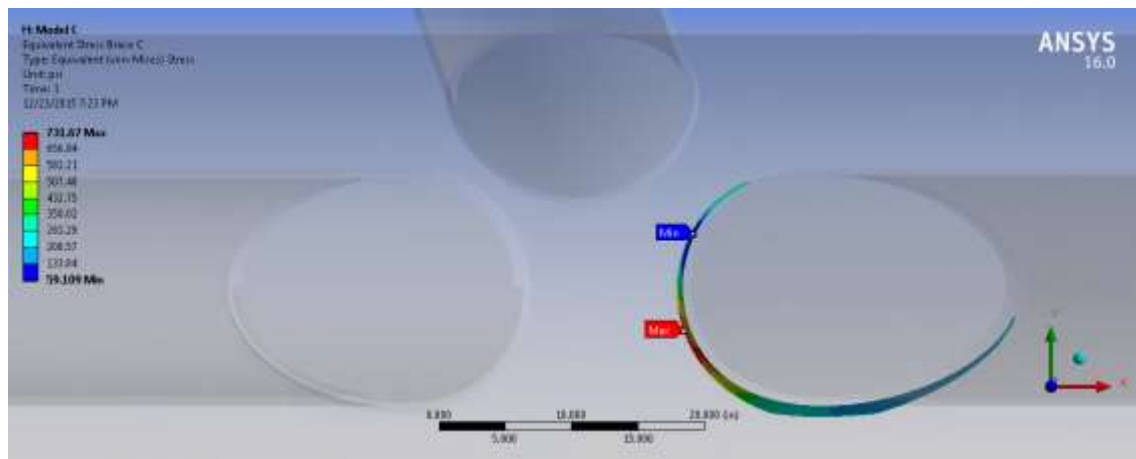
**Gambar C3.5** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model C



**Gambar C3.6** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model C – Brace A

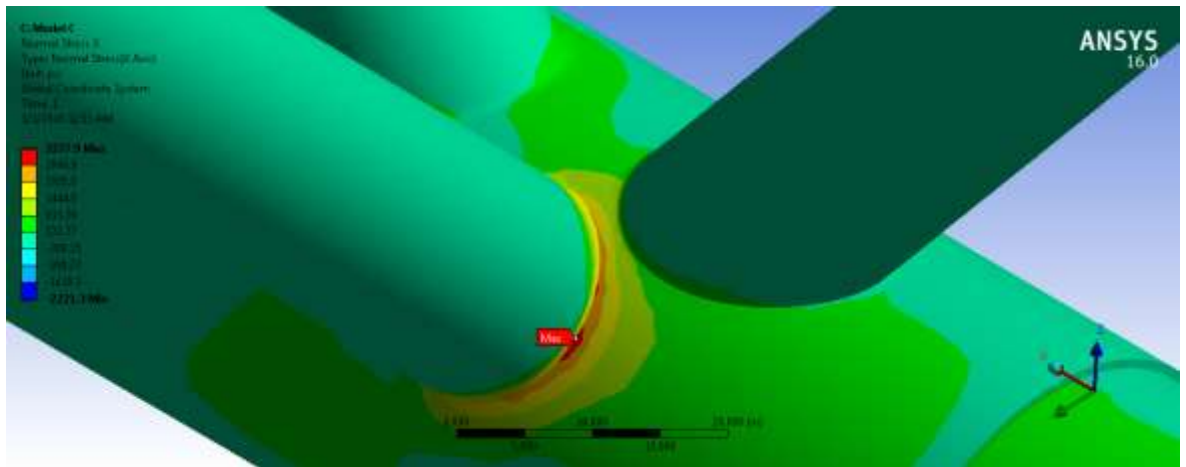


**Gambar C3.7** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model C – Brace B

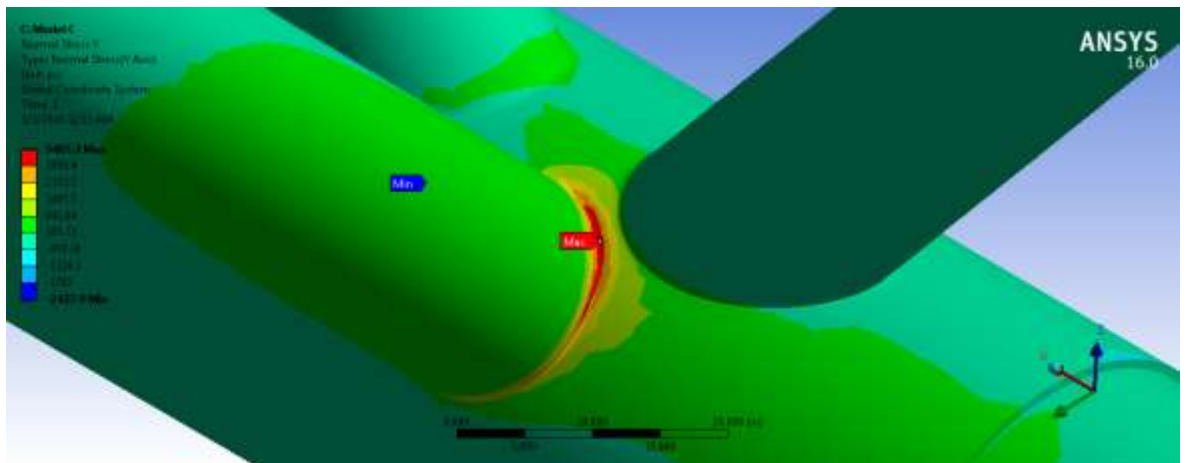


**Gambar C3.8** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model C – Brace C

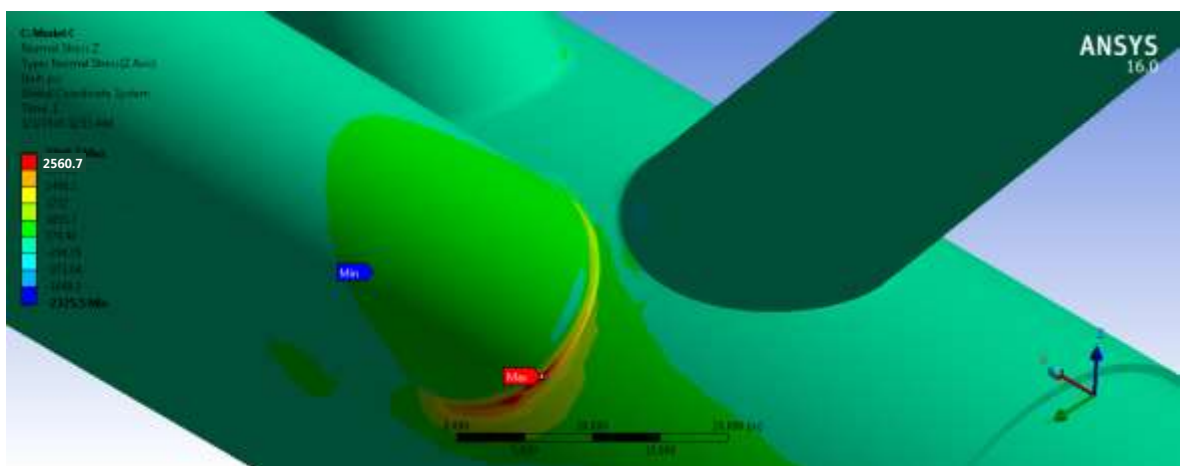
## ***NORMAL STRESS***



**Gambar C3.9** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model C – X Axis

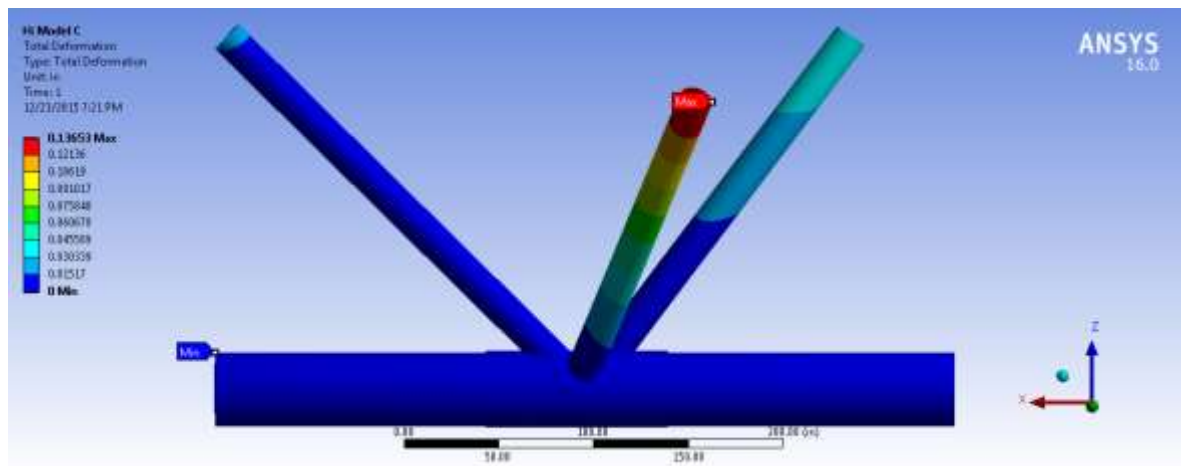


**Gambar C3.10** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model C – X Axis

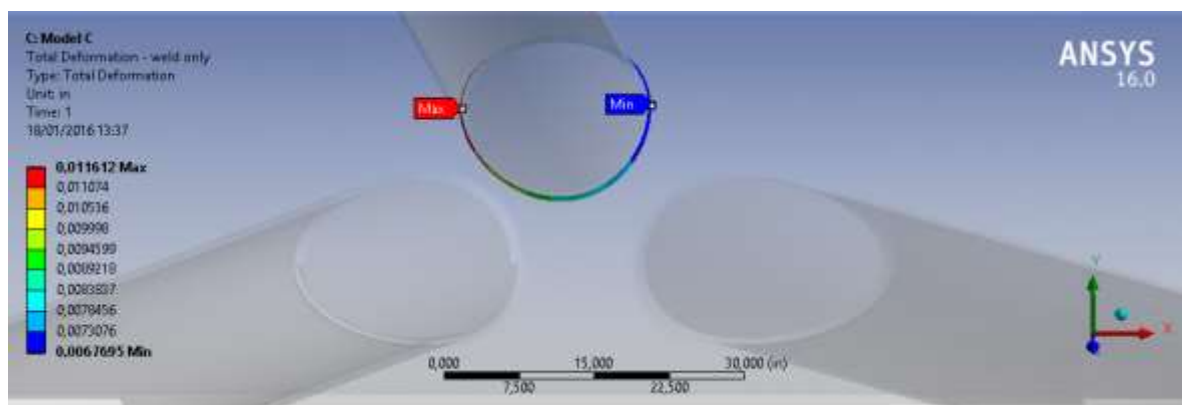


**Gambar C3.11** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model C – X Axis

## TOTAL DEFORMATION



**Gambar C3.12** *Total Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model C*



**Gambar C3.13** *Local Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model C*

**LAMPIRAN D**

**HASIL PEMODELAN *CRACK***

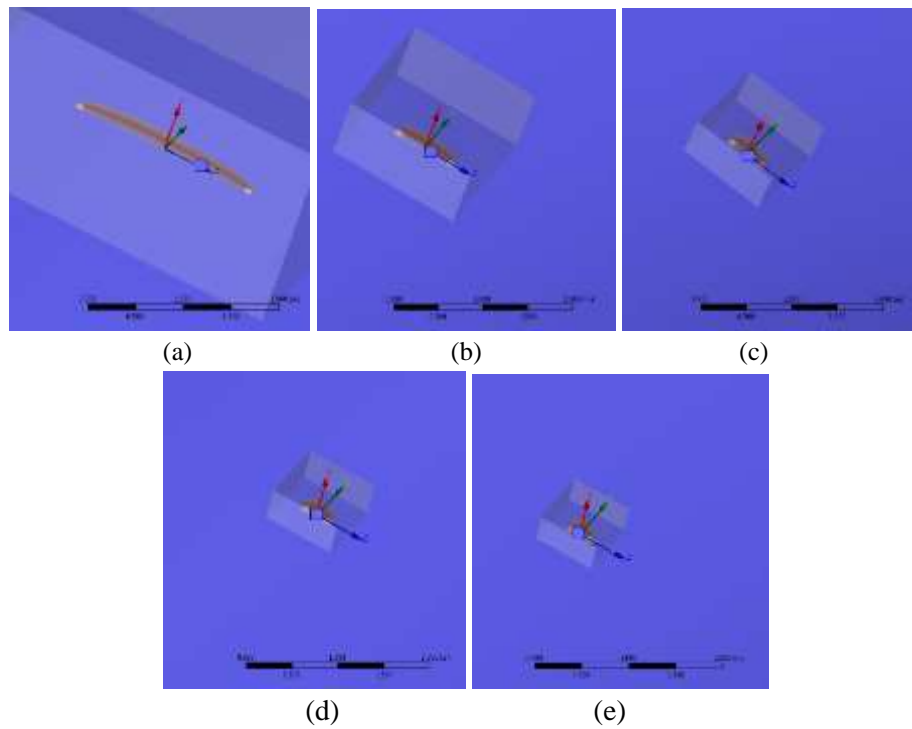
**VARIASI *c***



# **LAMPIRAN D.1**

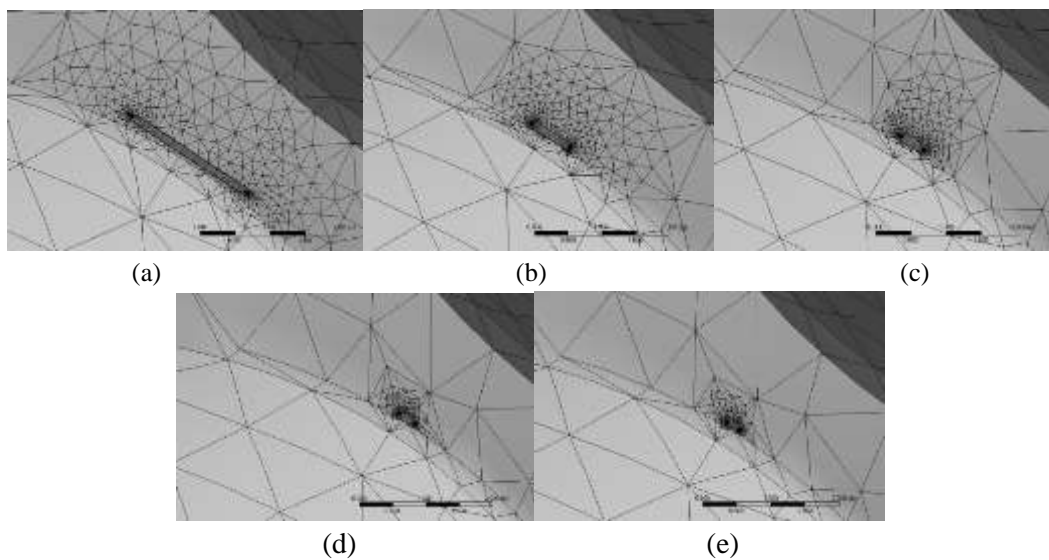
MODEL A

## Geometri Retak



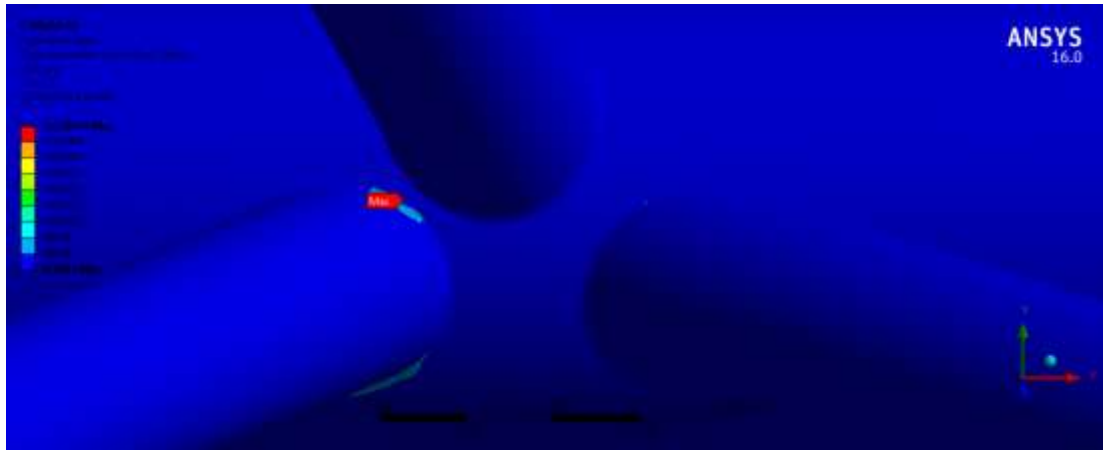
**Gambar D1.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

## *Crack Meshing*

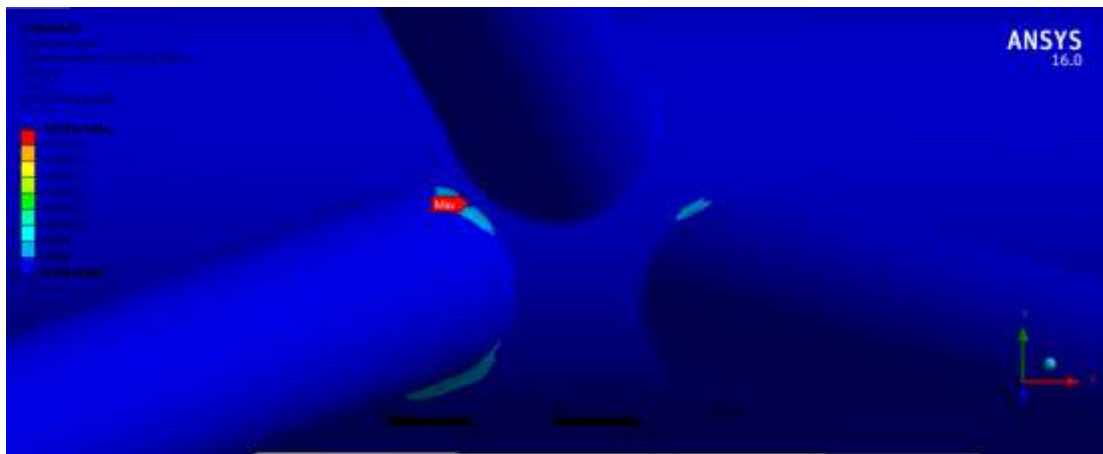


**Gambar D1.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

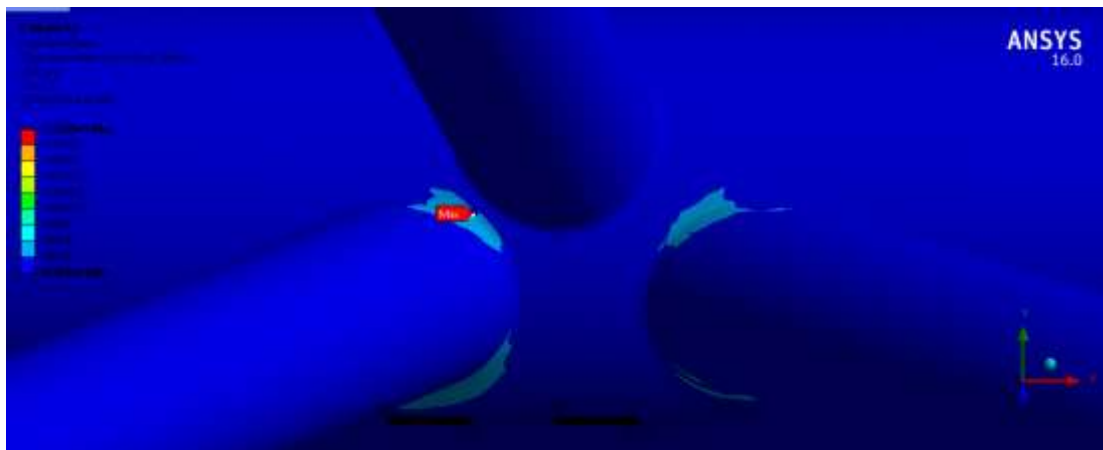
*Maximum von-Mises Stress*



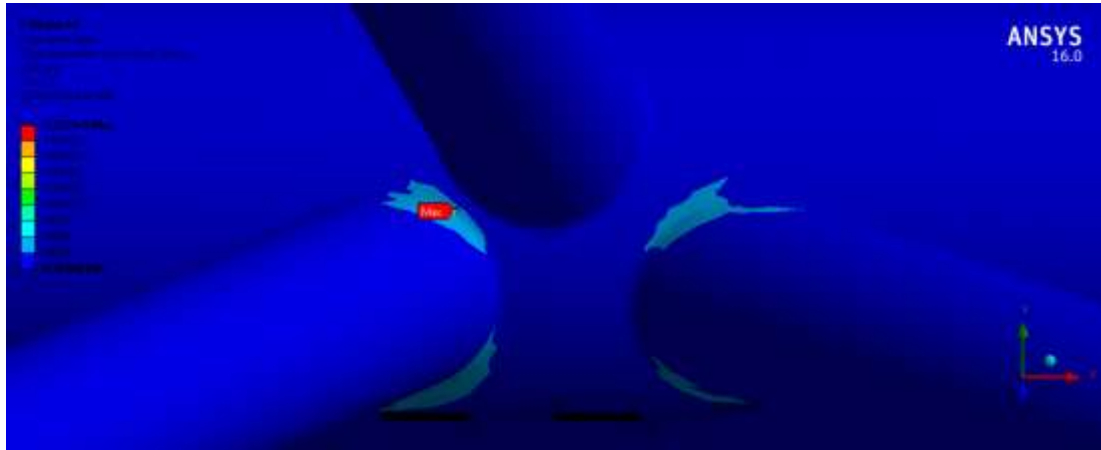
(a)



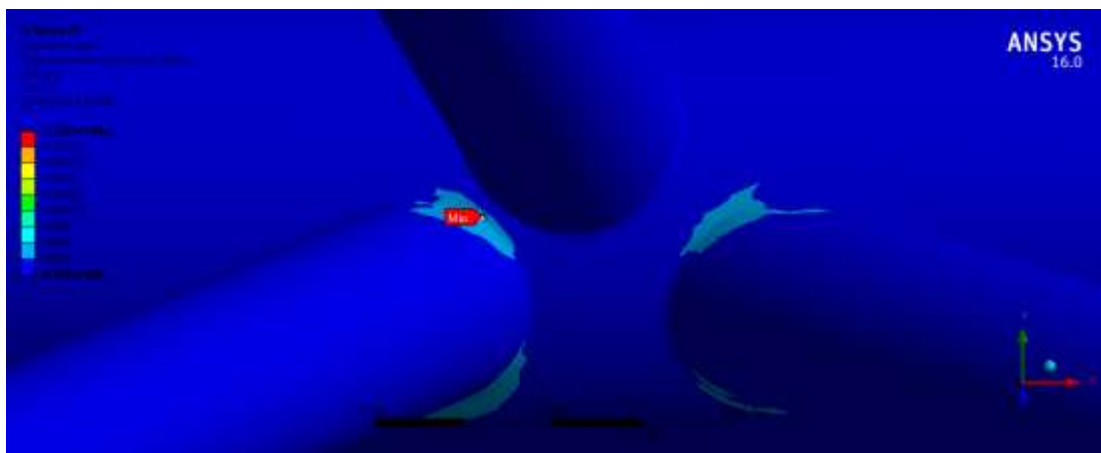
(b)



(c)



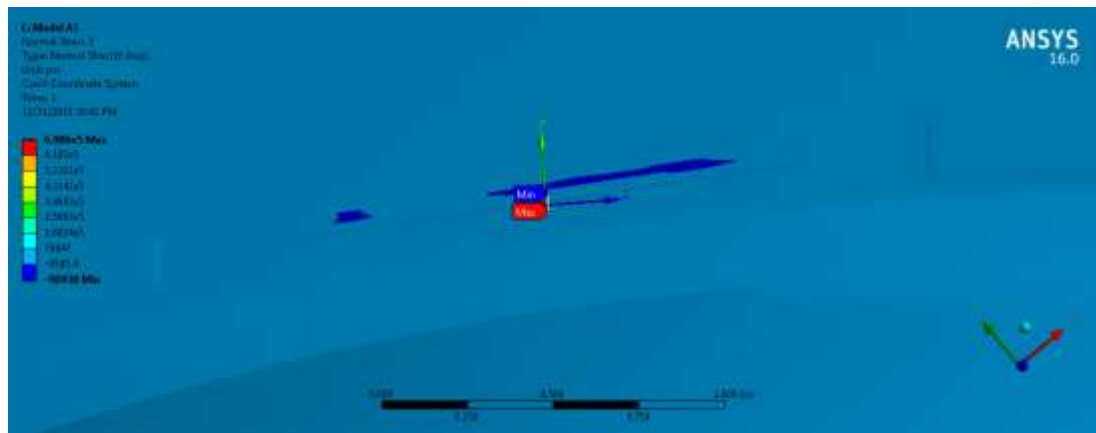
(d)



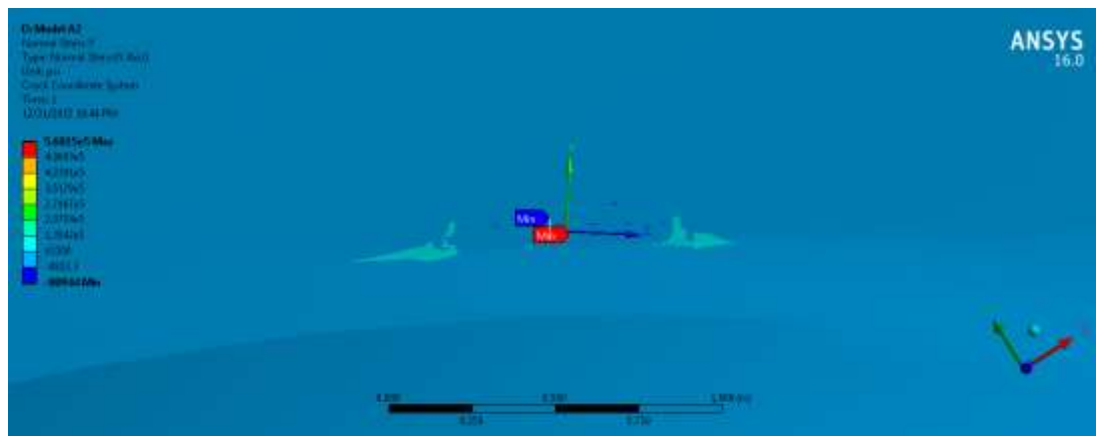
(e)

**Gambar D1.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

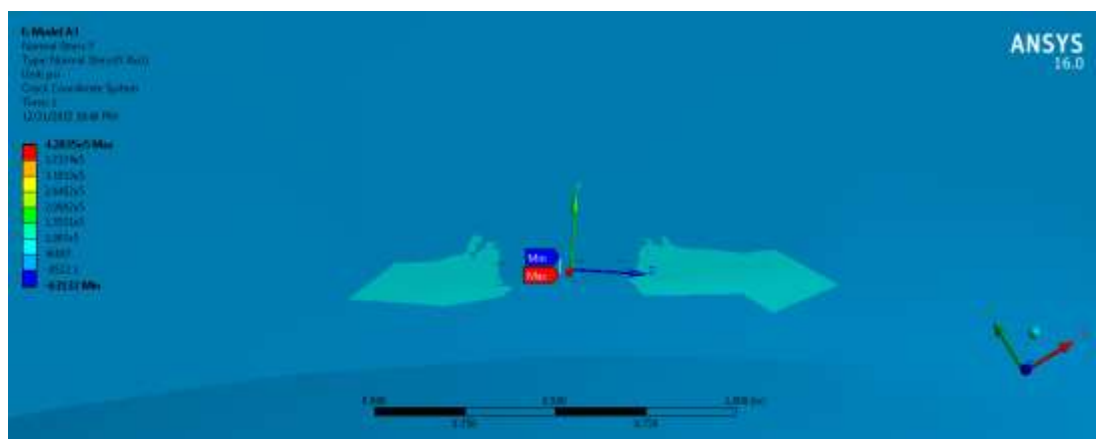
## Maximum Normal Stress



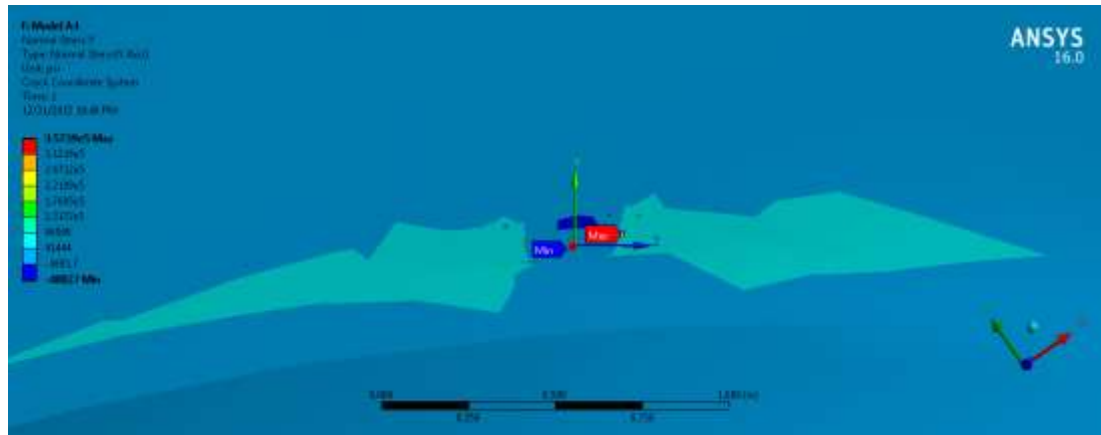
(a)



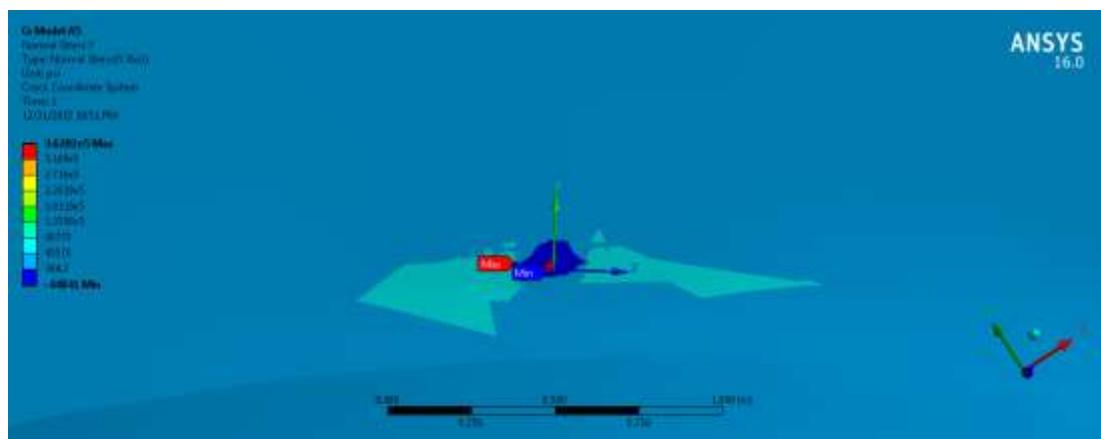
(b)



(c)



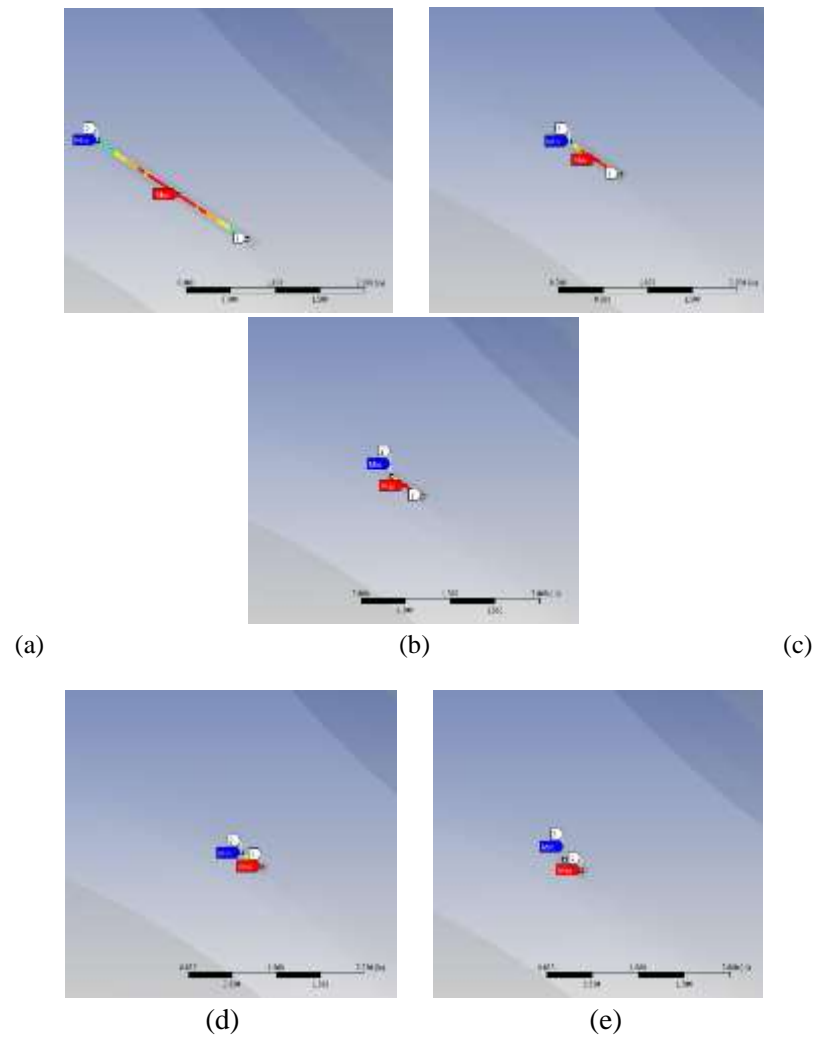
(d)



(e)

**Gambar D1.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

***Stress Intensity Factor (SIF)***

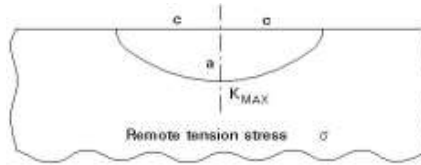


**Gambar D1.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

# **LAMPIRAN D.1.1**

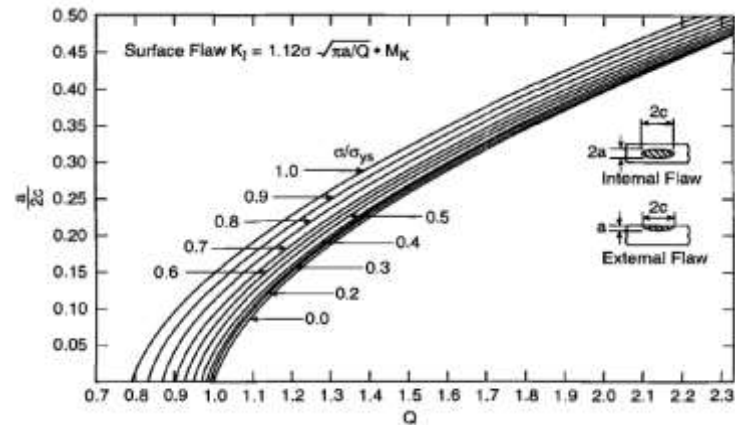
## **TABEL PERHITUNGAN SIF**





**Gambar D1.6** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

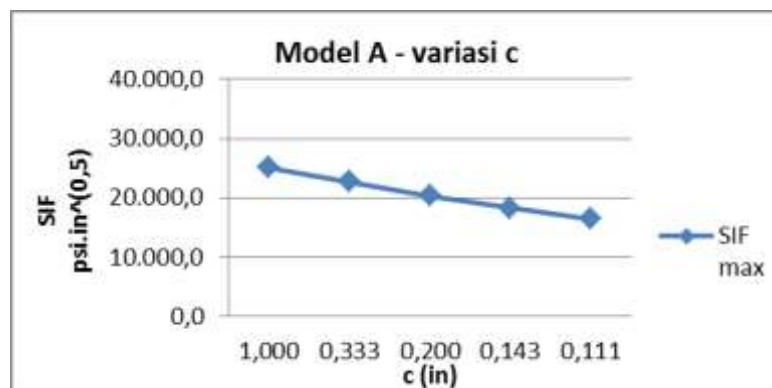
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar D1.7** *Flaw Shape Parameter Q*

Nominal stress Model A ( $\sigma$ ) = 34,179 psi

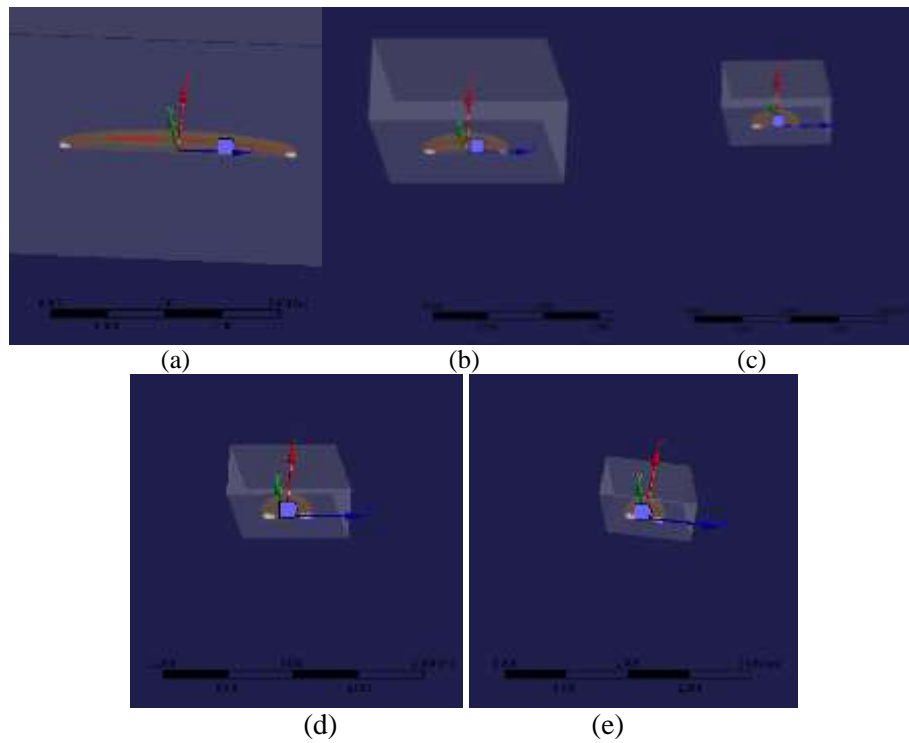
| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Max Normal<br>Stress<br>(psi) | SIFmax<br>psi.in <sup>^(0,5)</sup> | σ/σys | Q    | √ (π a/Q) | SIFmax   | %<br>error |
|-------|------|-----------|-----------|-------------------------------|------------------------------------|-------|------|-----------|----------|------------|
| A1    | 0.05 | 0.100     | 1.000     | 698,600                       | 25,077                             | 0.68  | 0.90 | 0.59      | 22,611.1 | 9.83       |
| A2    | 0.15 | 0.100     | 0.333     | 568,150                       | 22,749                             | 0.68  | 1.09 | 0.54      | 20,546.1 | 9.68       |
| A3    | 0.25 | 0.100     | 0.200     | 428,350                       | 20,313                             | 0.68  | 1.37 | 0.48      | 18,326.6 | 9.78       |
| A4    | 0.35 | 0.100     | 0.143     | 357,390                       | 17,282                             | 0.68  | 1.86 | 0.41      | 15,728.4 | 8.99       |
| A5    | 0.45 | 0.100     | 0.111     | 362,010                       | 15,458                             | 0.68  | 2.23 | 0.38      | 14,364.5 | 7.07       |



# **LAMPIRAN D.2**

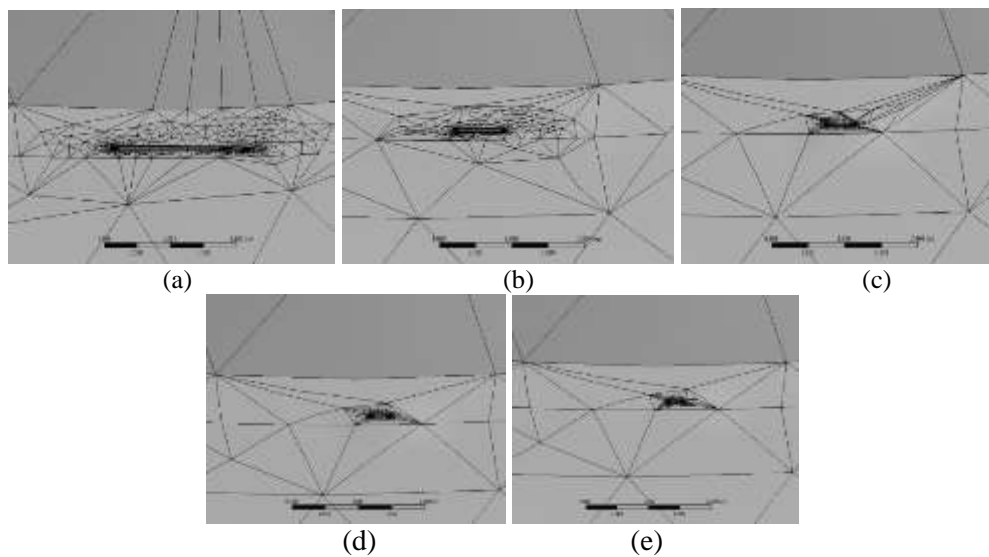
**MODEL B**

## Geometri Retak



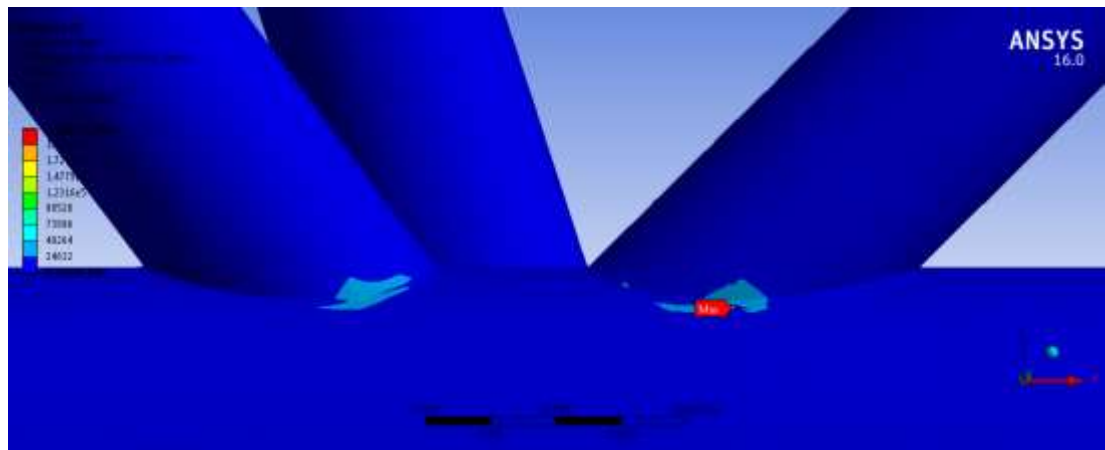
**Gambar D2.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan  $A$  dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

## Crack Meshing

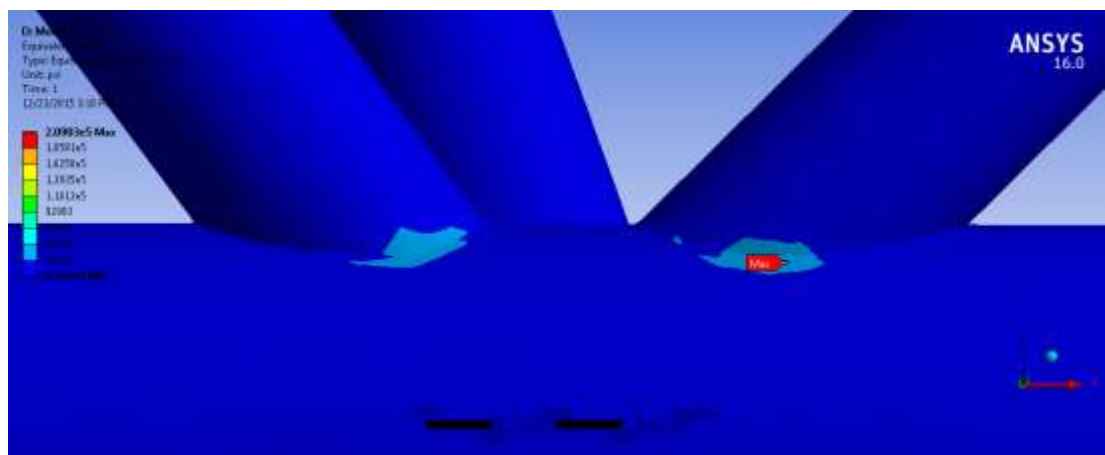


**Gambar D2.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan  $A$  dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

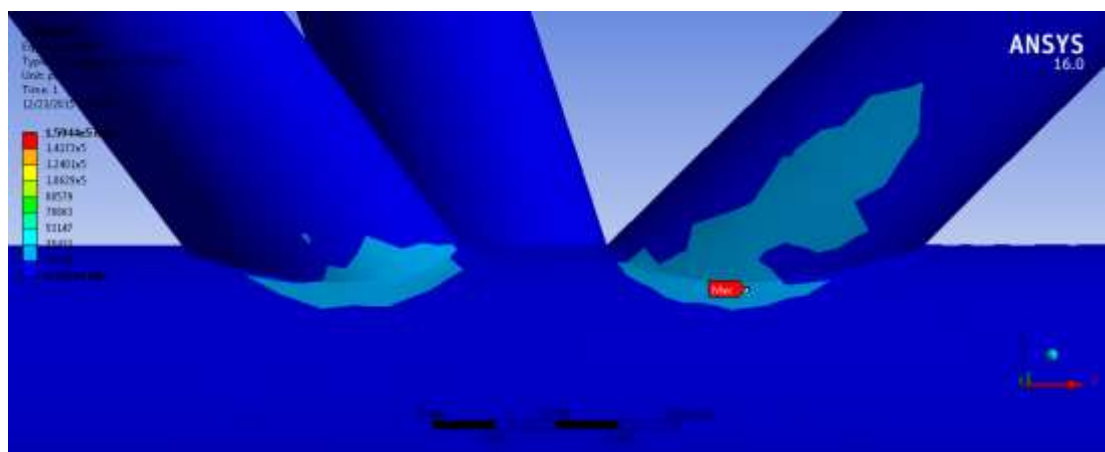
*Maximum von-Mises Stress*



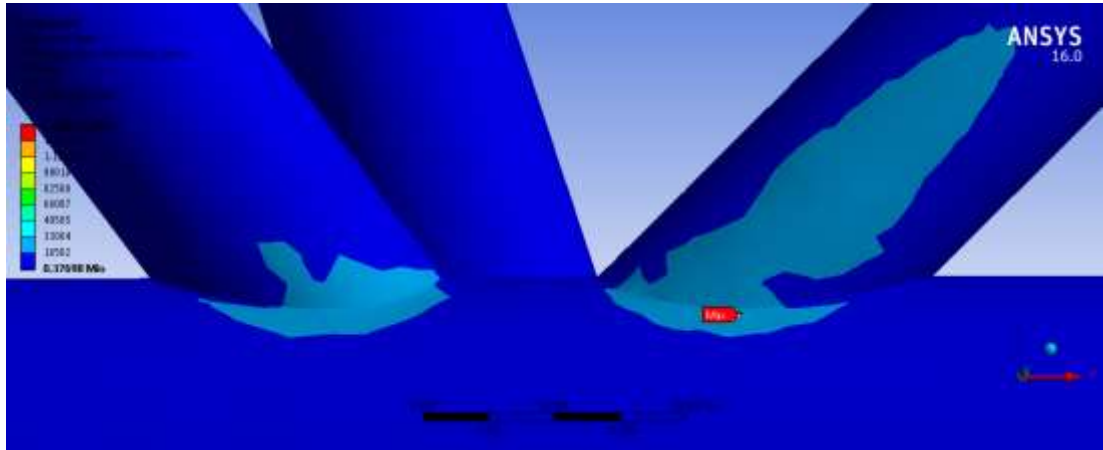
(a)



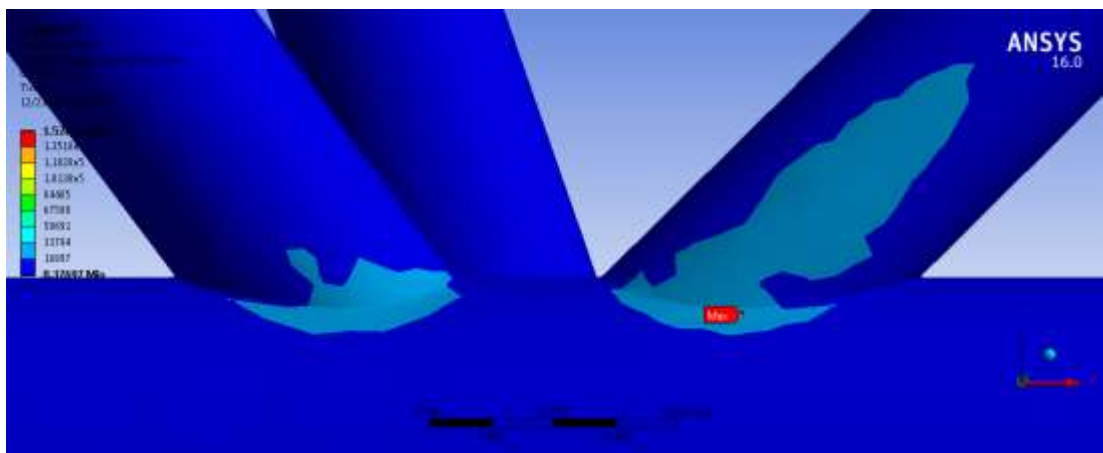
(b)



(c)



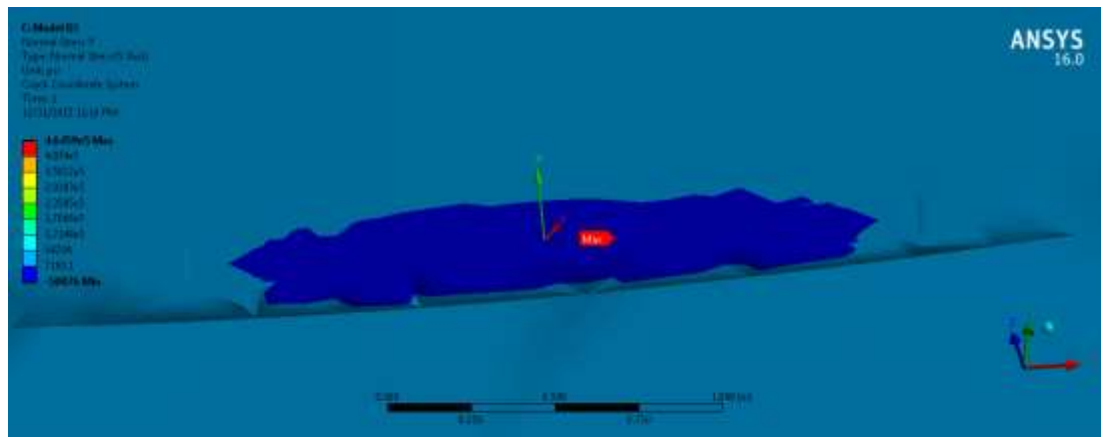
(d)



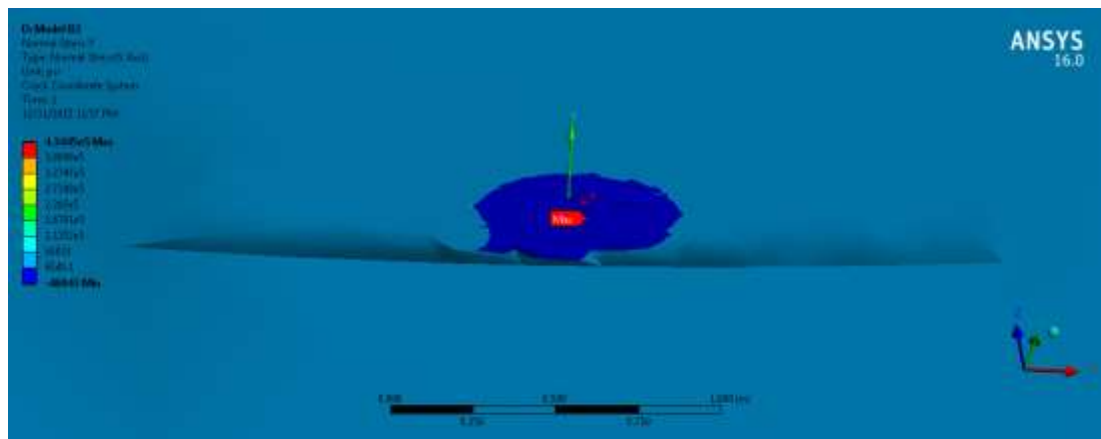
(e)

**Gambar D2.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

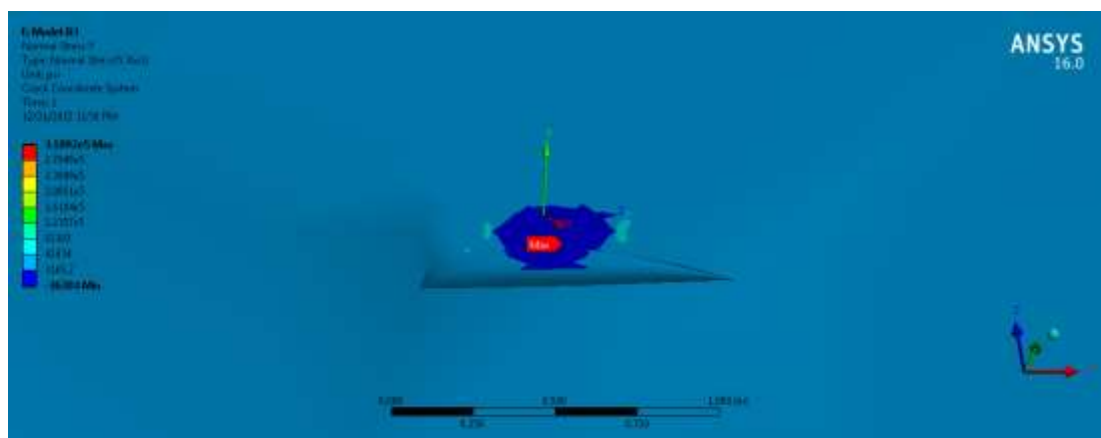
## Maximum Normal Stress



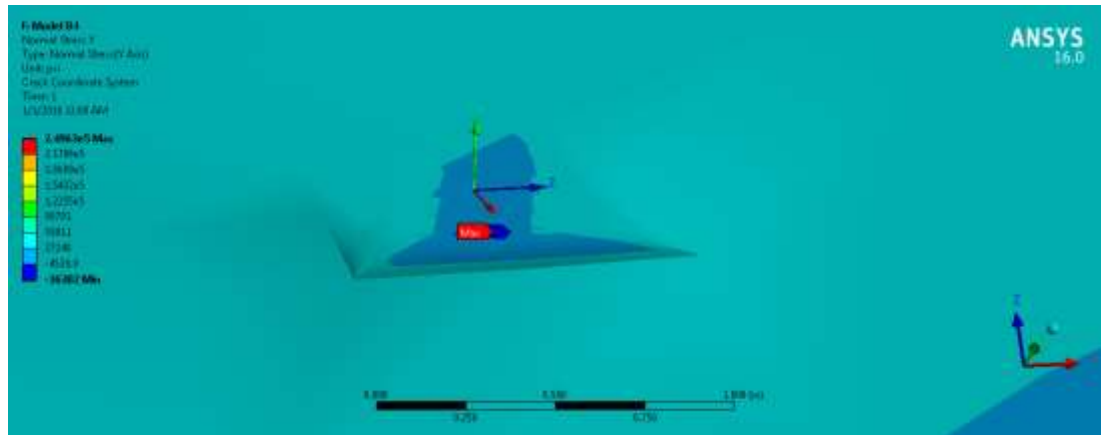
(a)



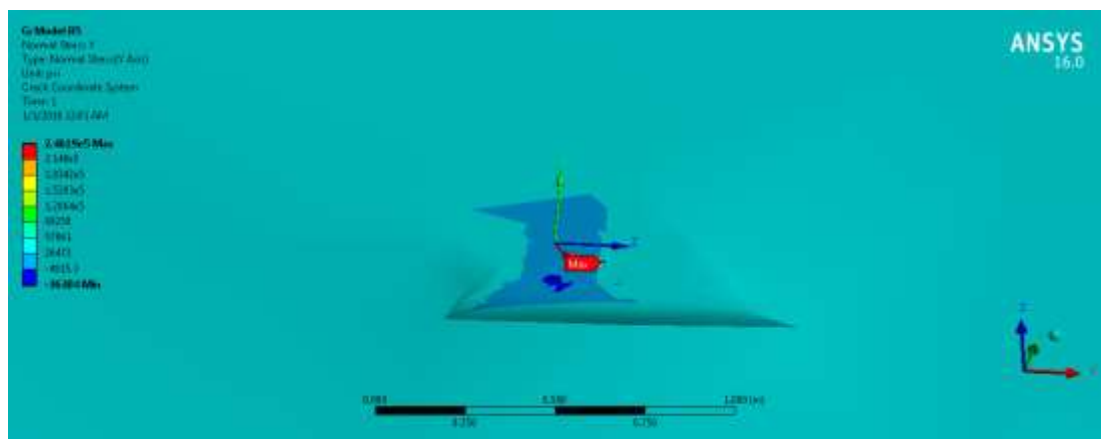
(b)



(c)



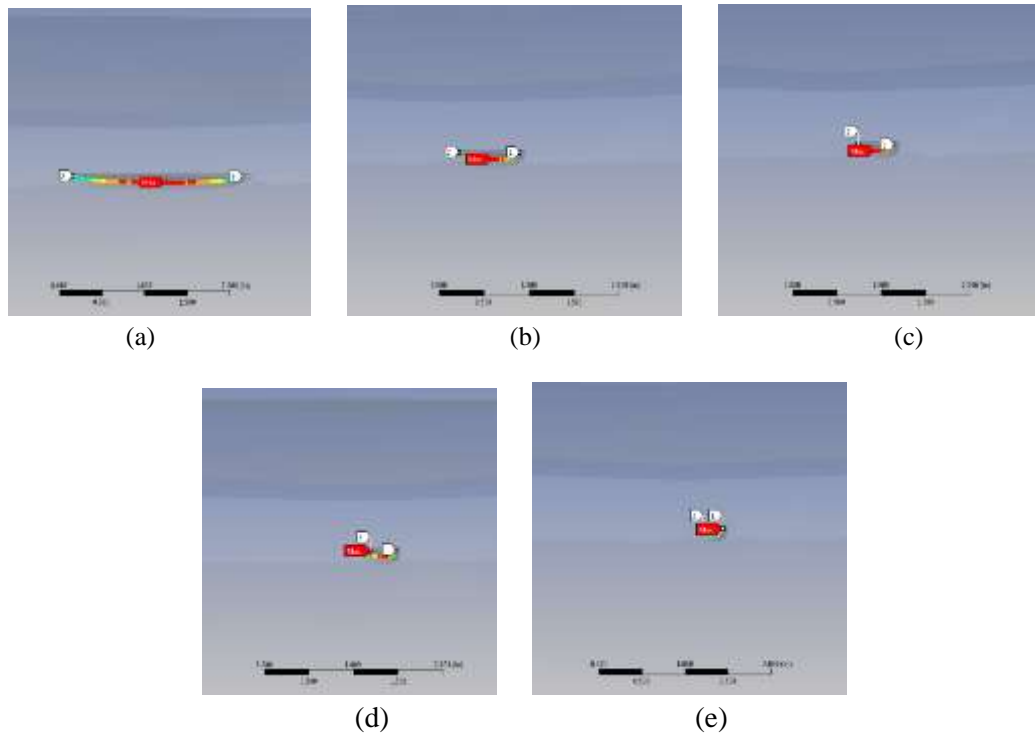
(d)



(e)

**Gambar D2.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

***Stress Intensity Factor (SIF)***

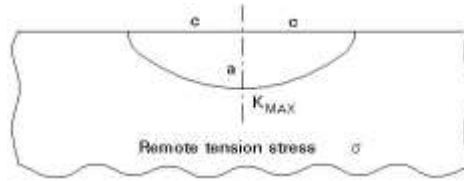


**Gambar D2.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5



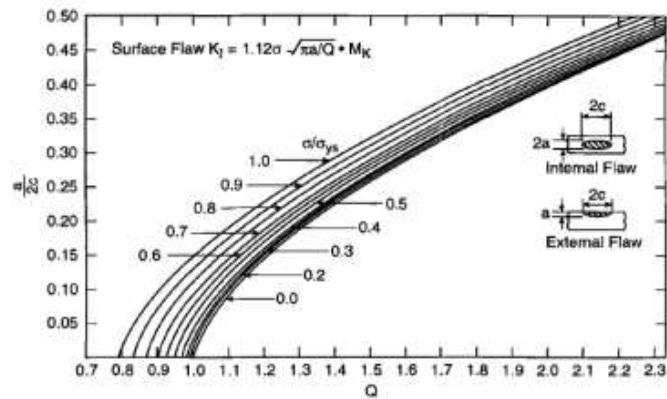
# **LAMPIRAN D.2.1**

## **TABEL PERHITUNGAN SIF**



**Gambar D2.6** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

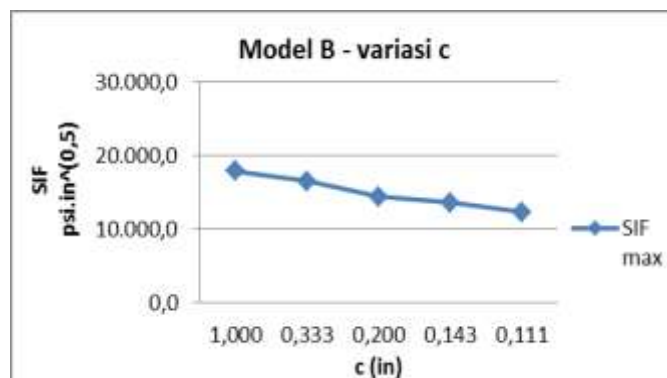
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar D2.7** *Flaw Shape Parameter Q*

Nominal stress Model B ( $\sigma$ ) = 30,282 psi

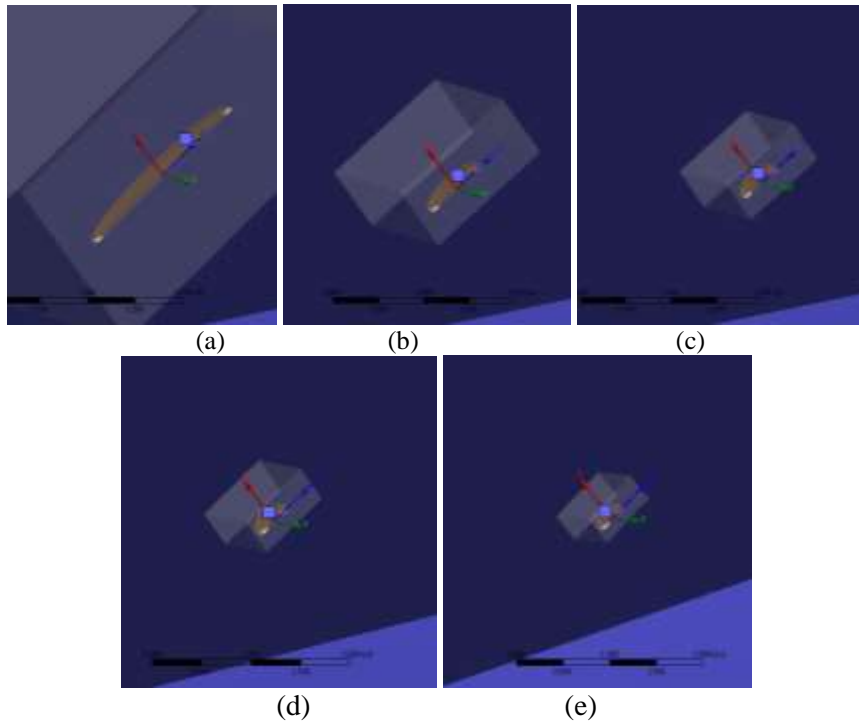
| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Max Normal<br>Stress<br>(psi) | SIFmax<br>psi.in <sup>^(0,5)</sup> | σ/σ <sub>ys</sub> | Q    | v (π a/Q) | SIFmax   | %<br>error |
|-------|------|-----------|-----------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------|------|-----------|----------|------------|
| A1    | 0.05 | 0.100     | 1.000     | 464,590                       | 17,910                             | 0.61              | 0.98 | 0.57      | 19,197.9 | 6.71       |
| A2    | 0.15 | 0.100     | 0.333     | 434,450                       | 16,518                             | 0.61              | 1.15 | 0.52      | 17,722.2 | 6.80       |
| A3    | 0.25 | 0.100     | 0.200     | 318,920                       | 14,470                             | 0.61              | 1.42 | 0.47      | 15,948.6 | 9.27       |
| A4    | 0.35 | 0.100     | 0.143     | 249,630                       | 13,654                             | 0.61              | 1.80 | 0.42      | 14,165.5 | 3.61       |
| A5    | 0.45 | 0.100     | 0.111     | 246,190                       | 12,380                             | 0.61              | 2.18 | 0.38      | 12,871.8 | 3.82       |



# **LAMPIRAN D.3**

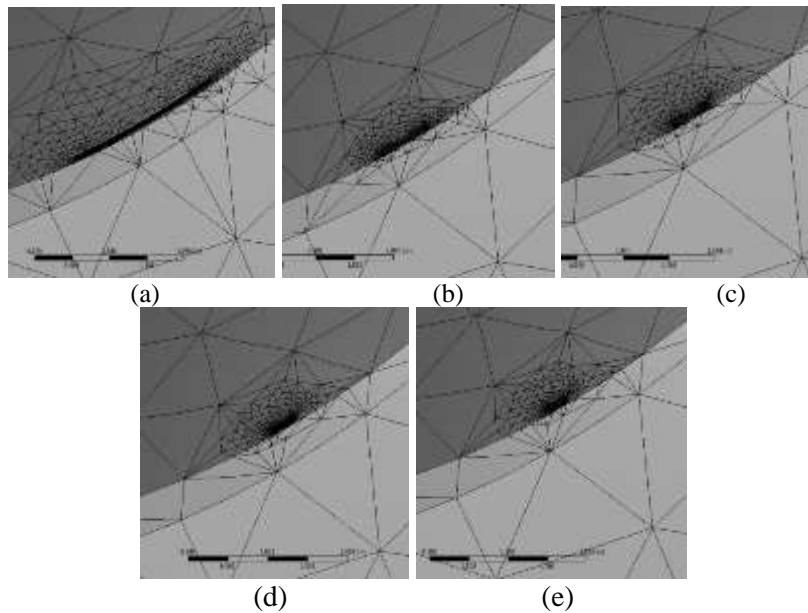
**MODEL C**

### Geometri Retak



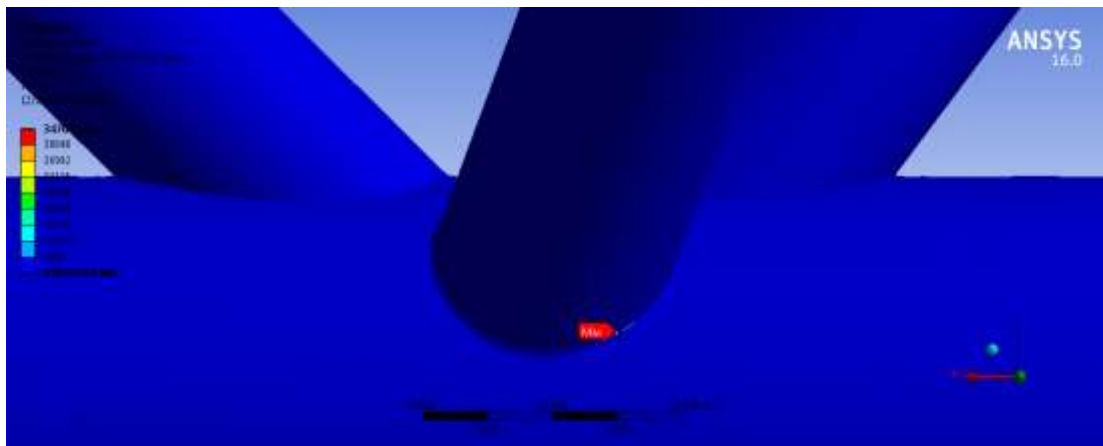
**Gambar D3.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

### *Crack Meshing*

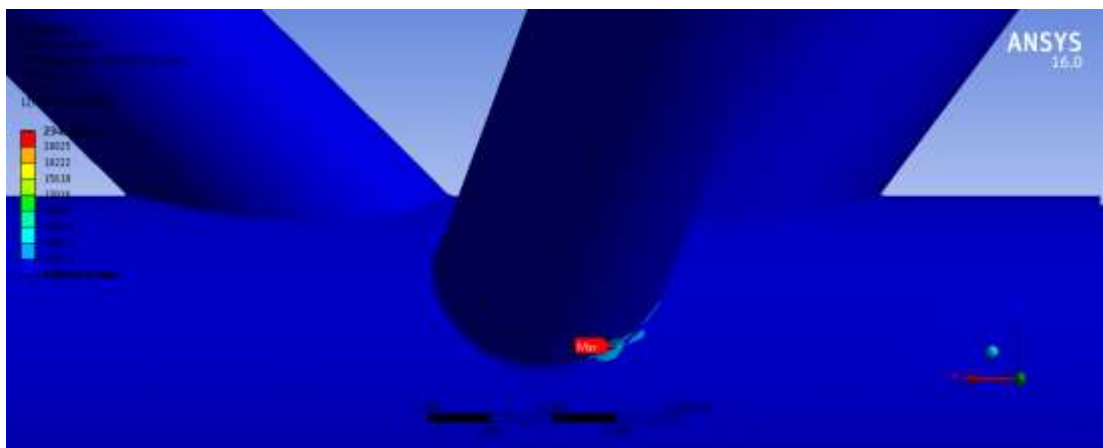


**Gambar D3.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

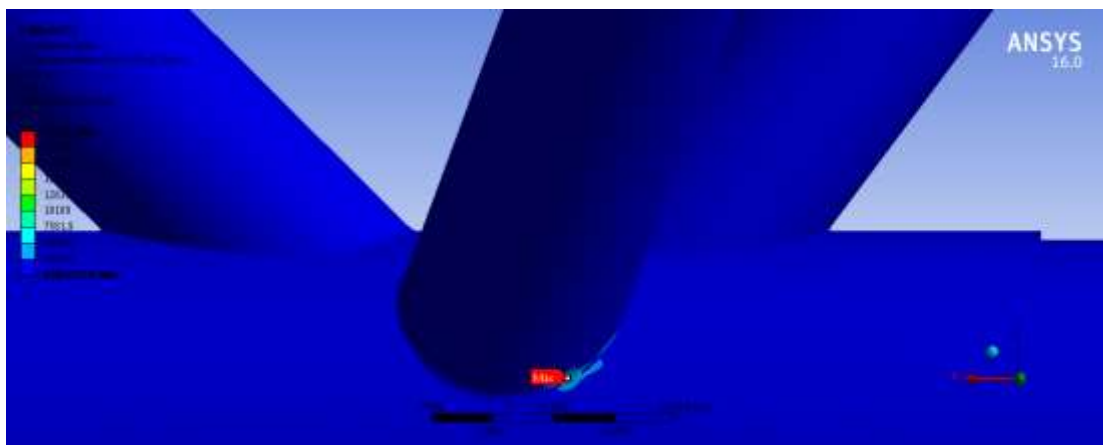
*Maximum von-Mises Stress*



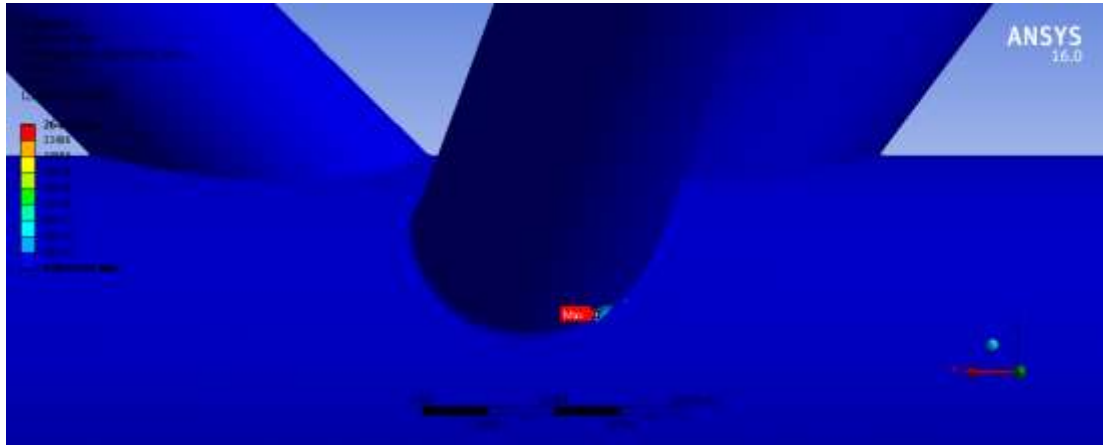
(a)



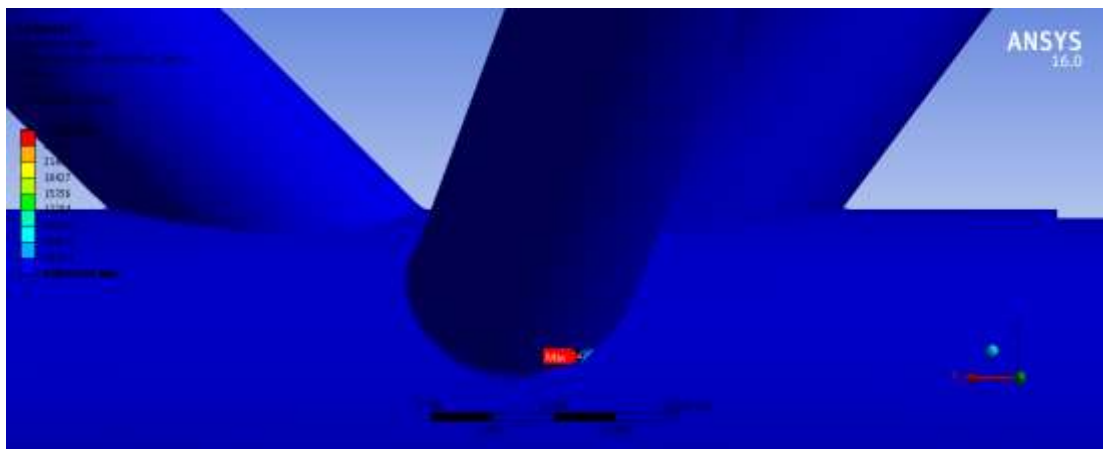
(b)



(c)



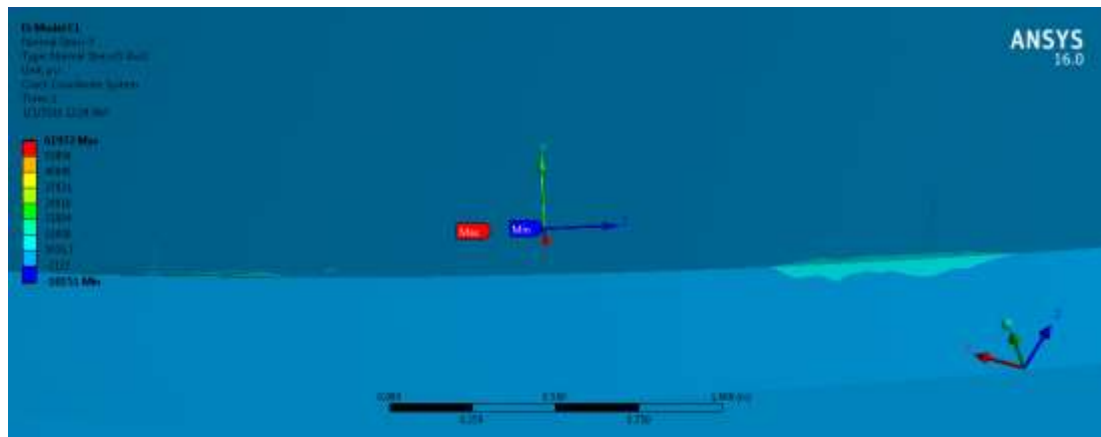
(d)



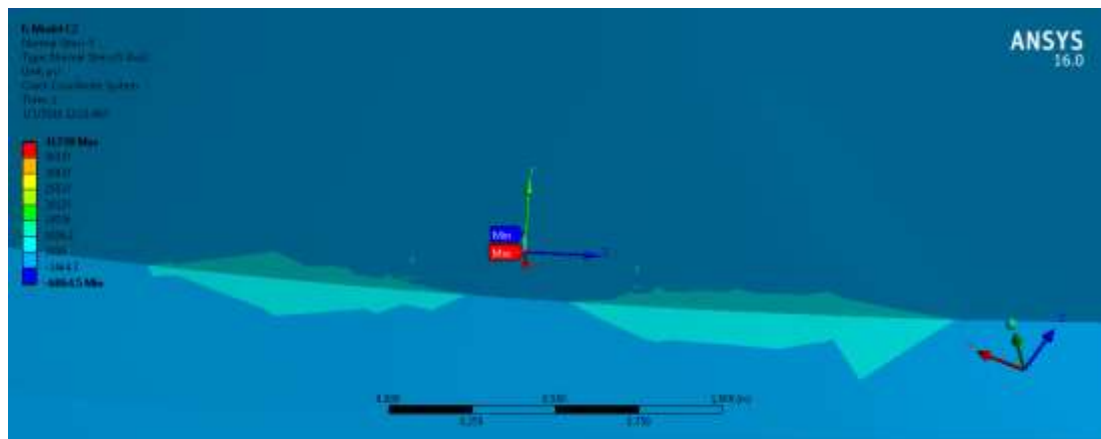
(e)

**Gambar D3.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

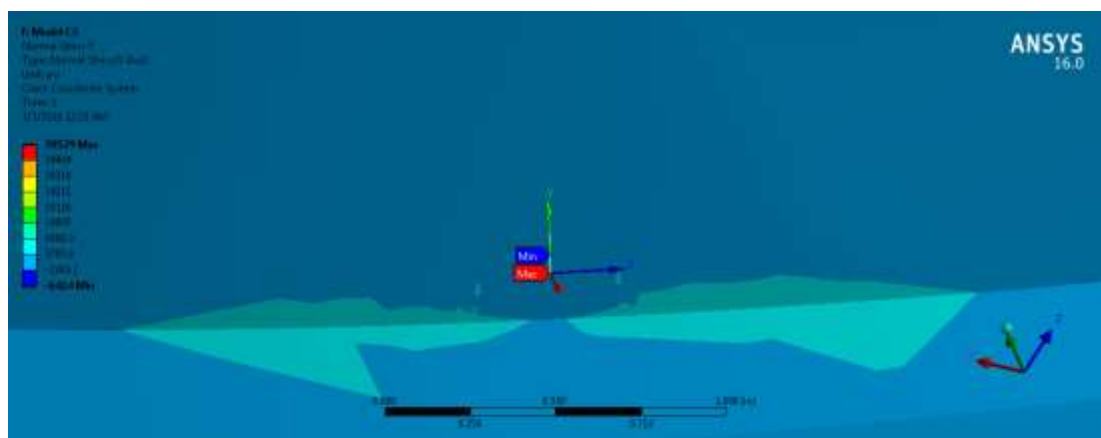
## Maximum Normal Stress



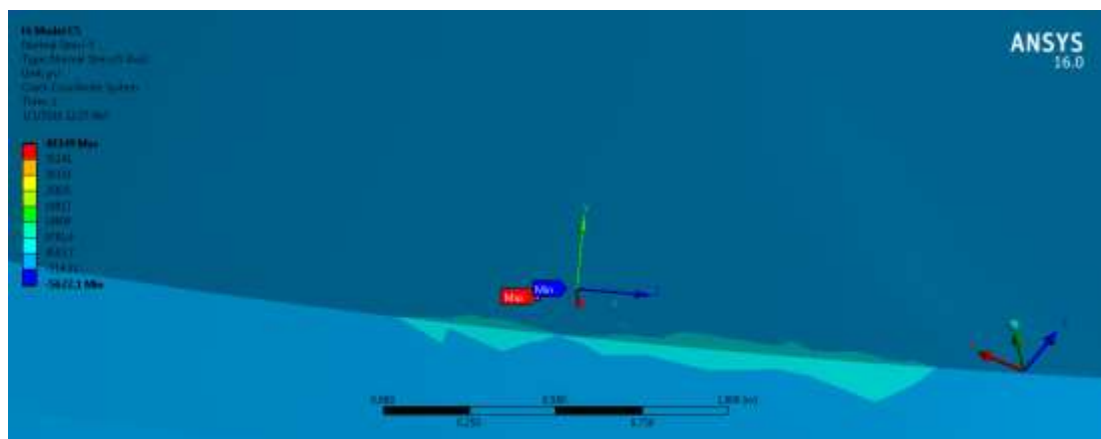
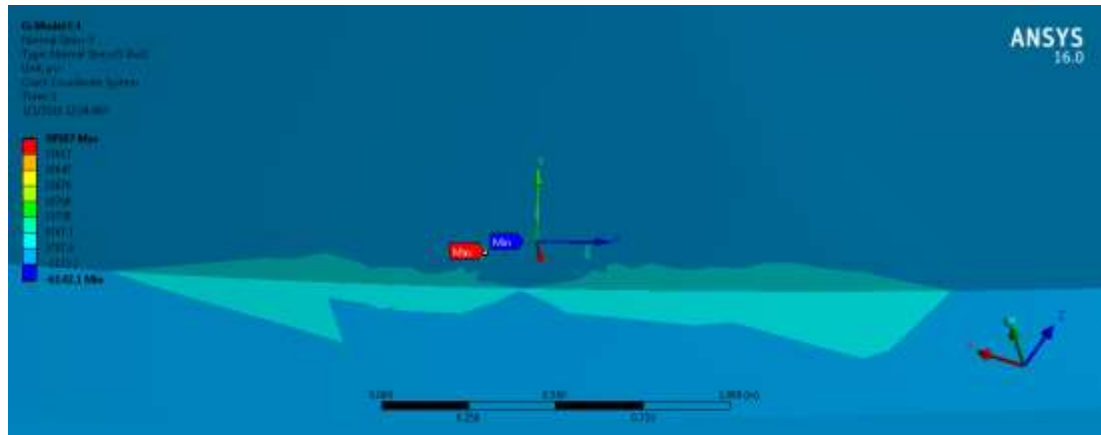
(a)



(b)



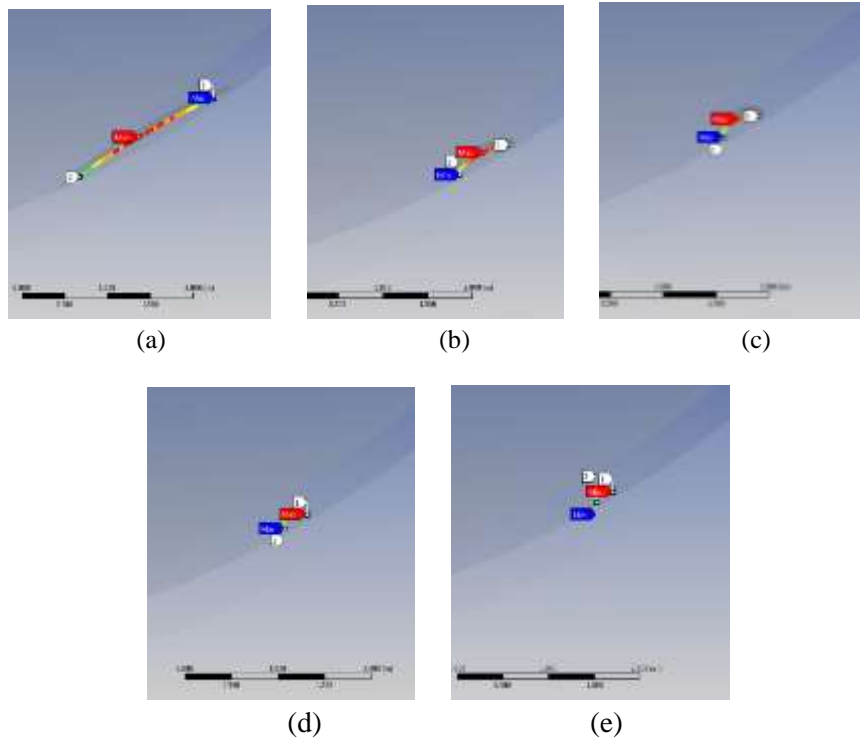
(c)



**Gambar D3.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5



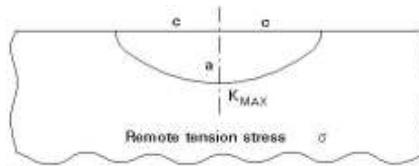
***Stress Intensity Factor (SIF)***



**Gambar D3.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

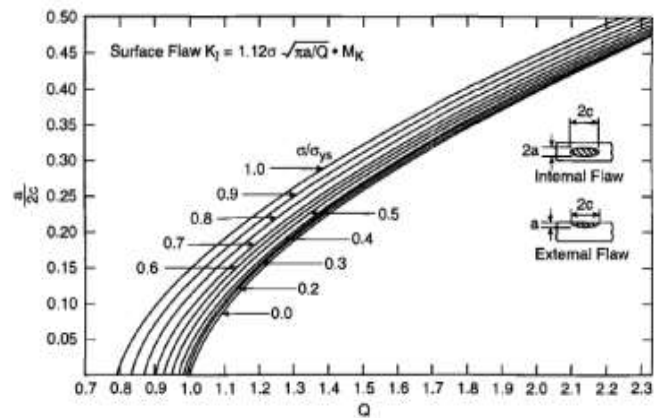
# **LAMPIRAN D.3.1**

## **TABEL PERHITUNGAN SIF**



**Gambar D3.6** Semi-elliptical Crack pada Plat

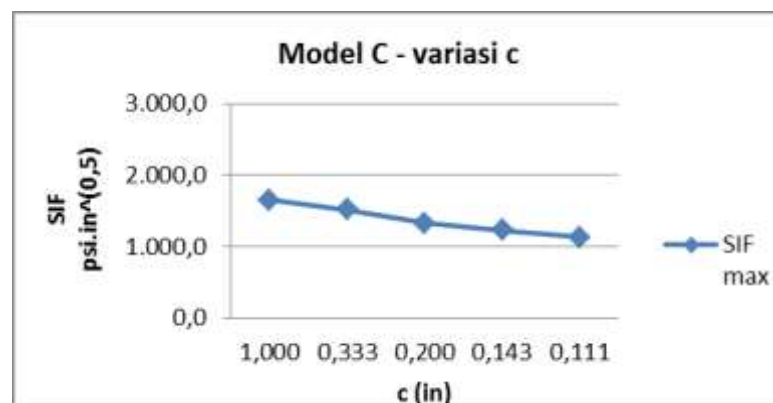
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar D3.7** Flaw Shape Parameter Q

Nominal stress Model C ( $\sigma$ ) = 2,561 psi

| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Max Normal<br>Stress<br>(psi) | SIFmax<br>psi.in <sup>0,5</sup> | σ/σ <sub>ys</sub> | Q    | v (π a/Q) | SIFmax  | %<br>error |
|-------|------|-----------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|------|-----------|---------|------------|
| A1    | 0.05 | 0.100     | 1.000     | 61,972                        | 1,653                           | 0.05              | 1.03 | 0.55      | 1,583.7 | 4.19       |
| A2    | 0.15 | 0.100     | 0.333     | 41,738                        | 1,519                           | 0.05              | 1.23 | 0.51      | 1,449.2 | 4.61       |
| A3    | 0.25 | 0.100     | 0.200     | 39,529                        | 1,331                           | 0.05              | 1.48 | 0.46      | 1,321.2 | 0.75       |
| A4    | 0.35 | 0.100     | 0.143     | 38,587                        | 1,232                           | 0.05              | 1.82 | 0.42      | 1,191.4 | 3.30       |
| A5    | 0.45 | 0.100     | 0.111     | 40,349                        | 1,134                           | 0.05              | 2.25 | 0.37      | 1,071.5 | 5.48       |



**LAMPIRAN E**

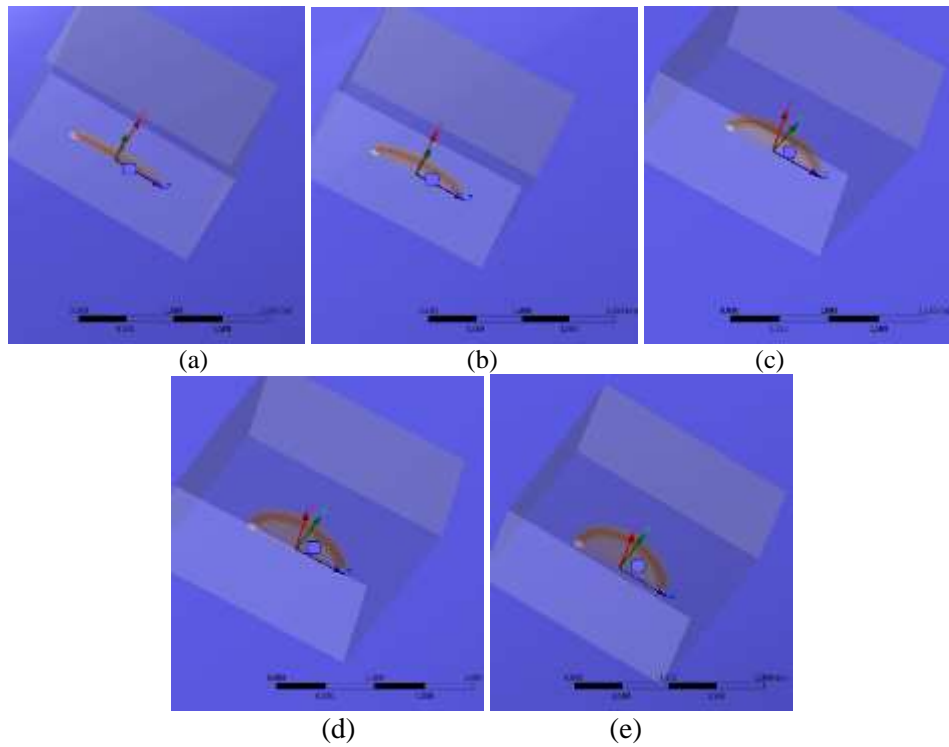
**HASIL PEMODELAN *CRACK***

**VARIASI  $\alpha$**

# **LAMPIRAN E.1**

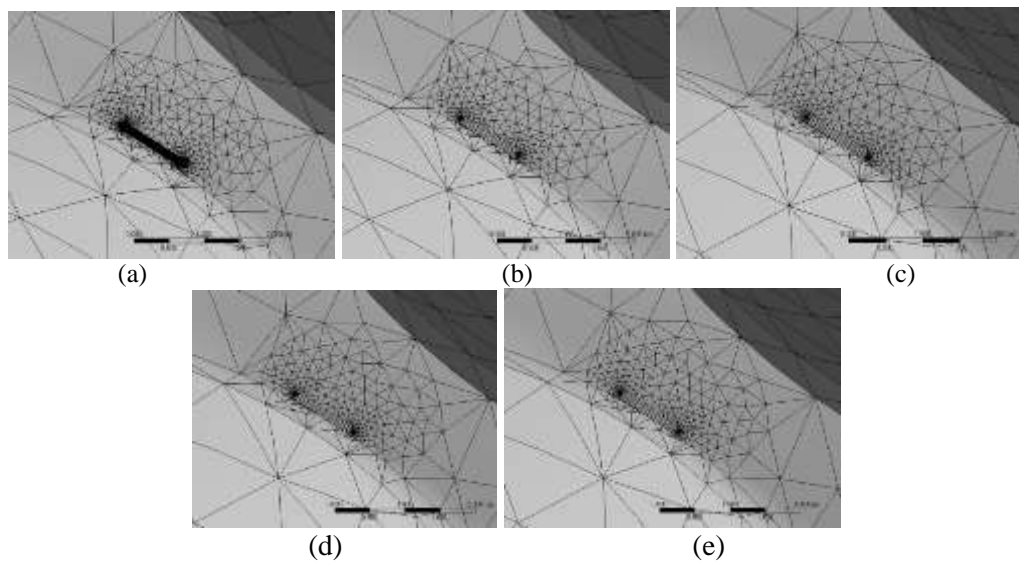
MODEL A

## Geometri Retak



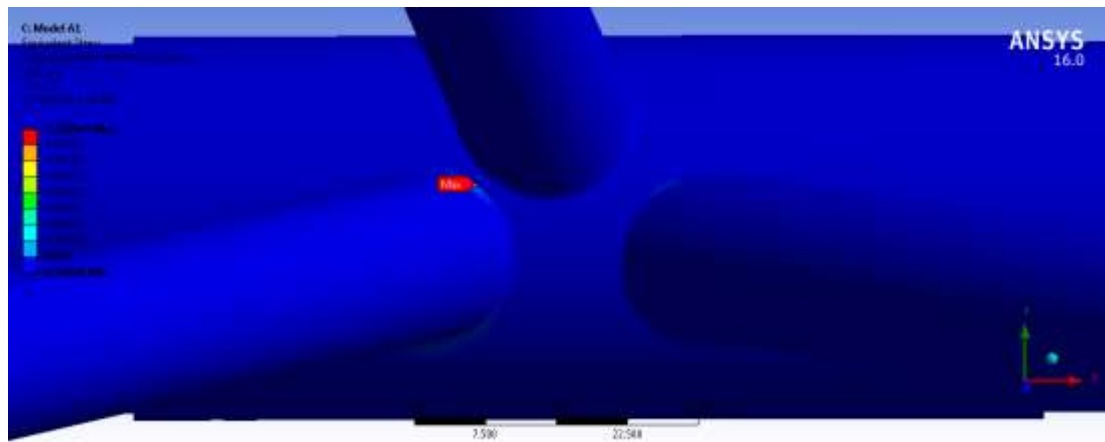
**Gambar E1.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

## *Crack Meshing*

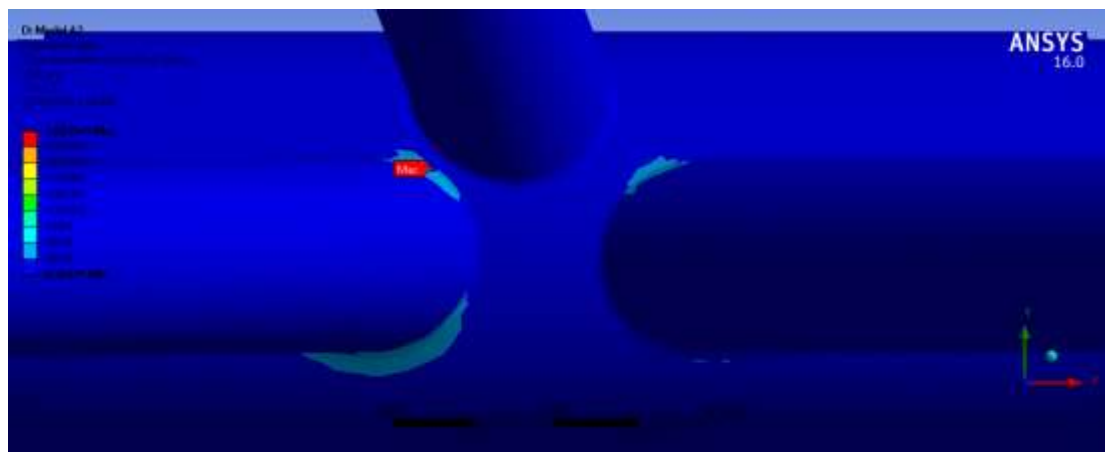


**Gambar E1.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

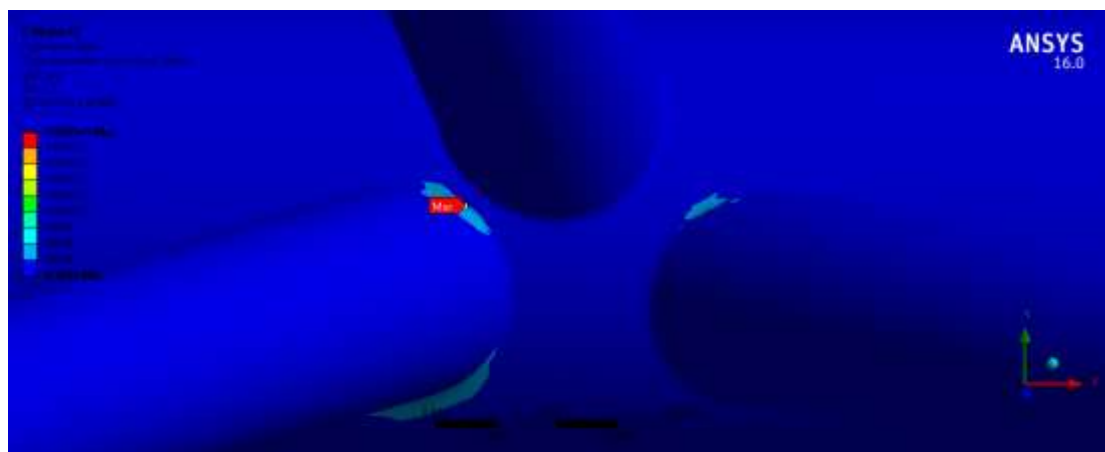
*Maximum von-Mises Stress*



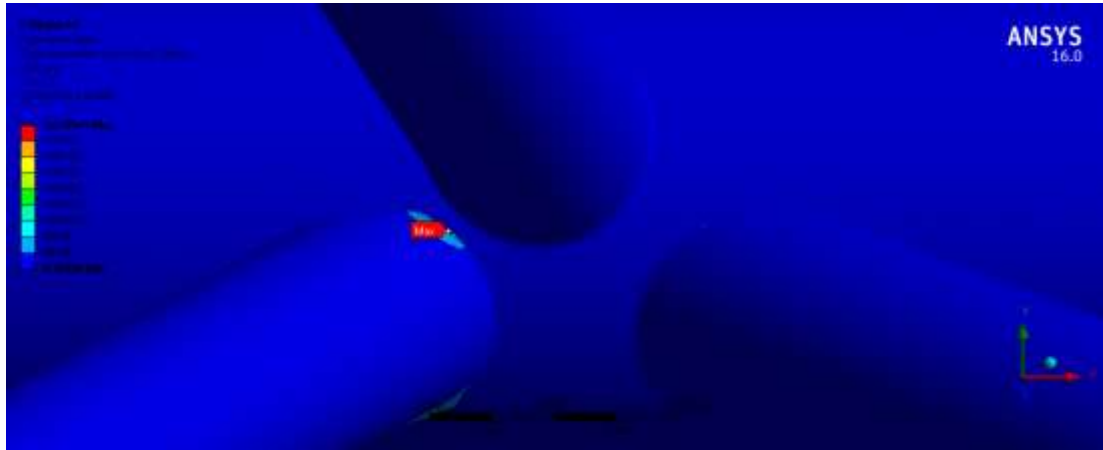
(a)



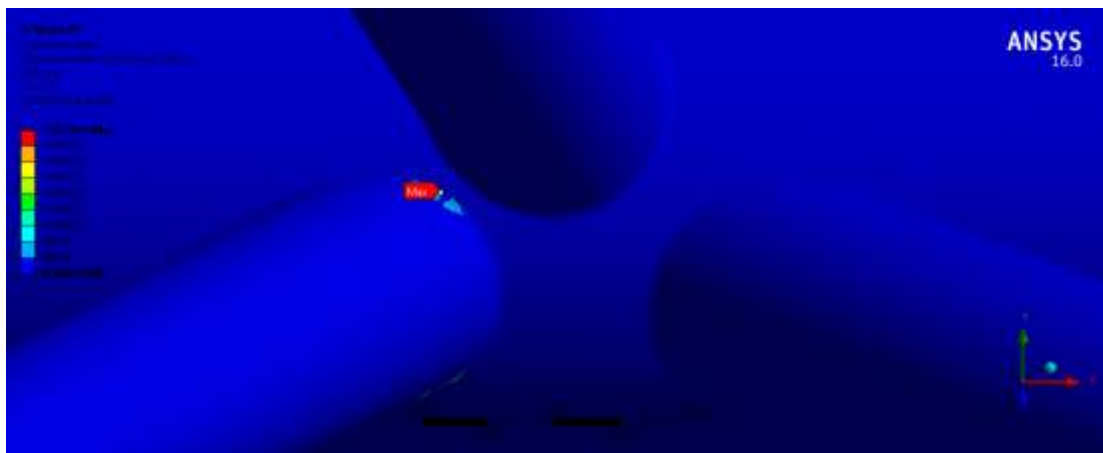
(b)



(c)



(d)

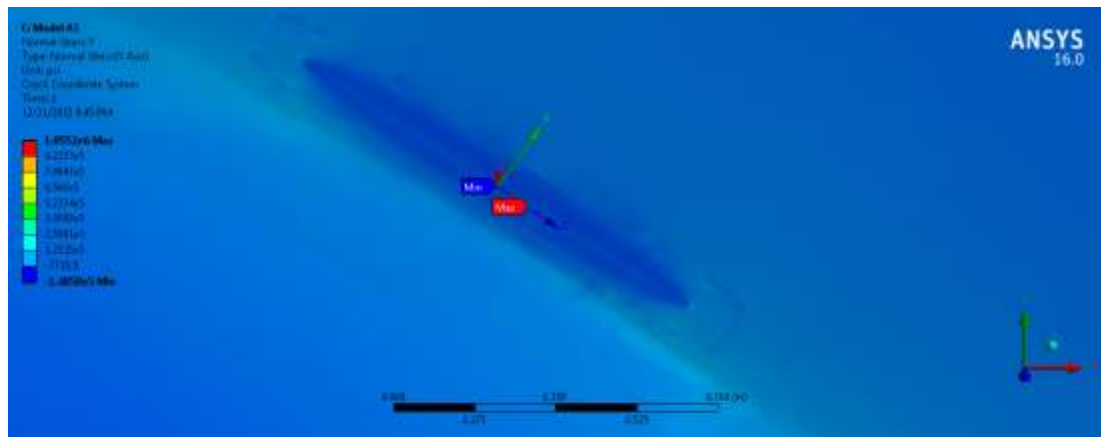


(e)

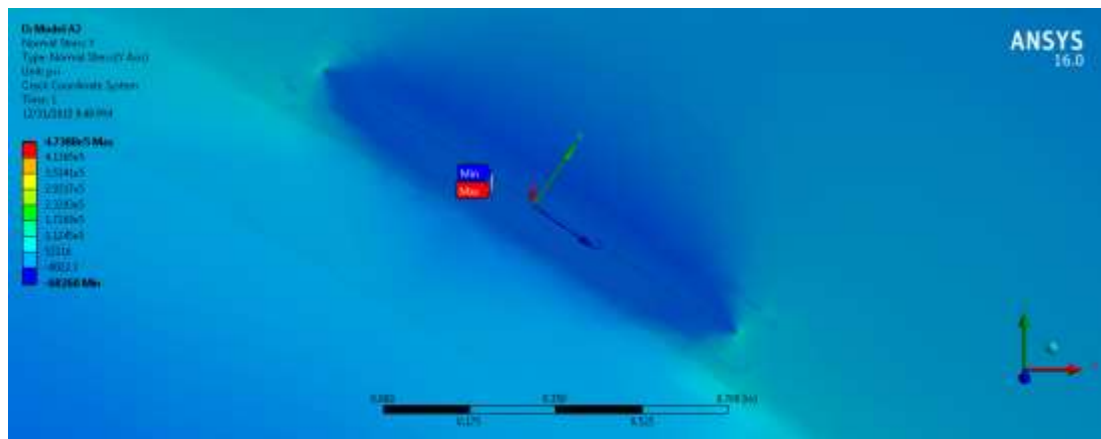
**Gambar E1.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5



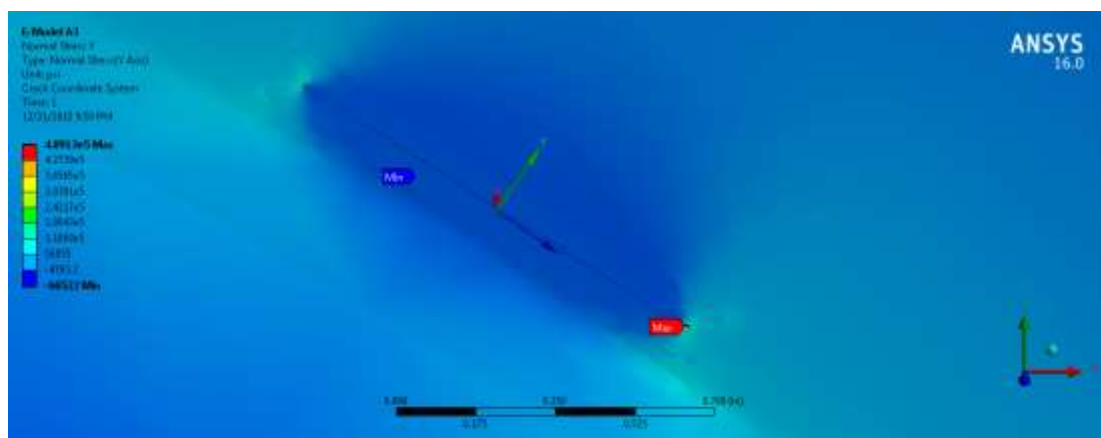
### Maximum Normal Stress



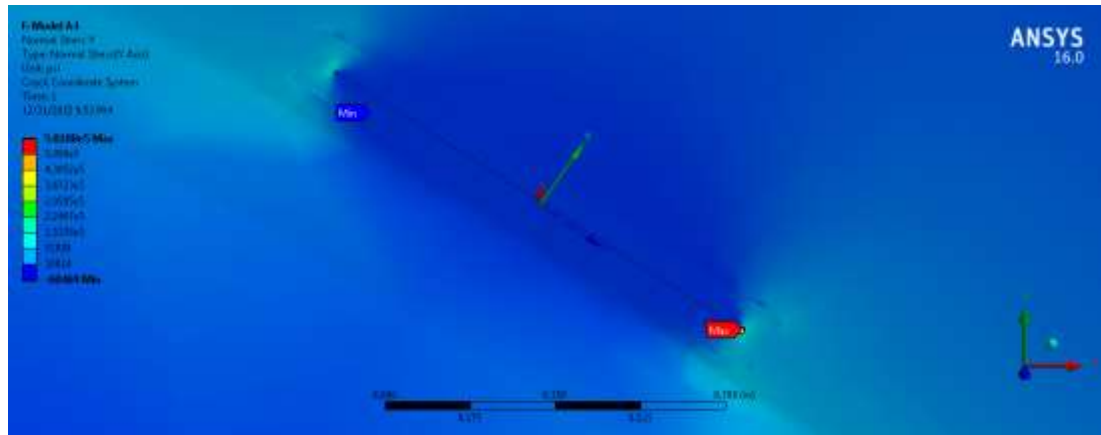
(a)



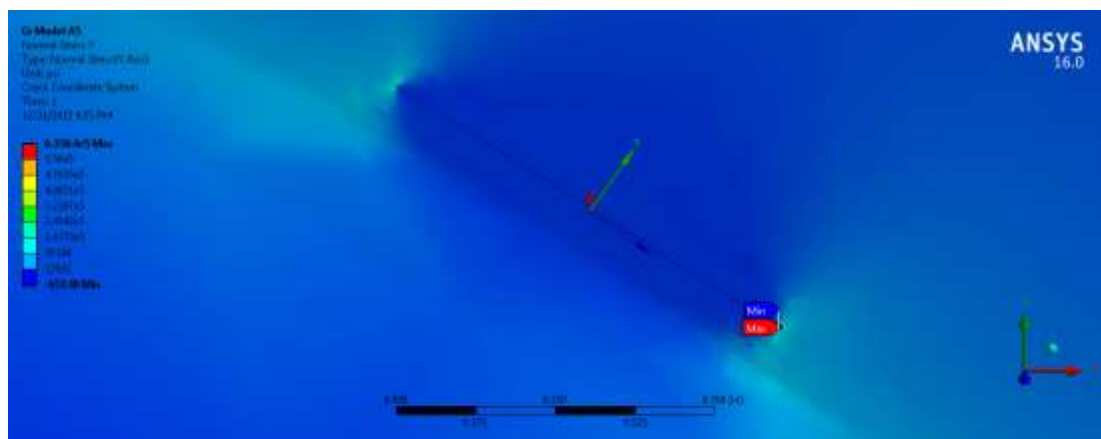
(b)



(c)



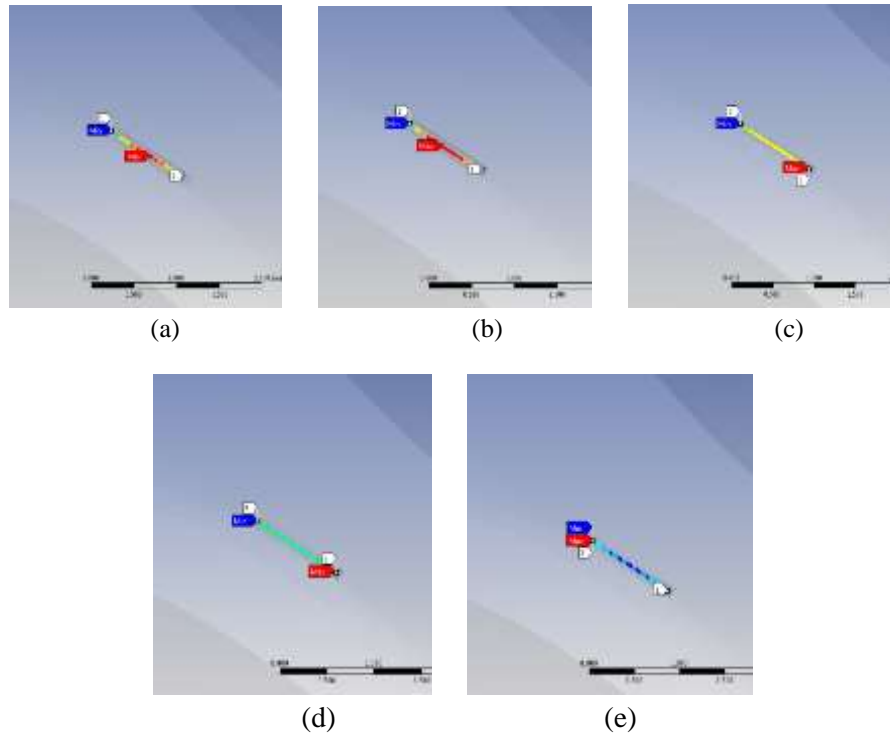
(d)



(e)

**Gambar E1.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

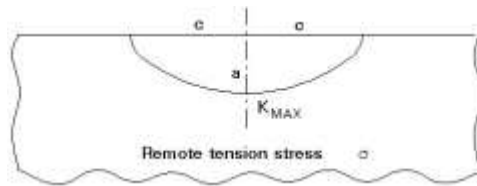
***Stress Intensity Factor (SIF)***



**Gambar E1.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

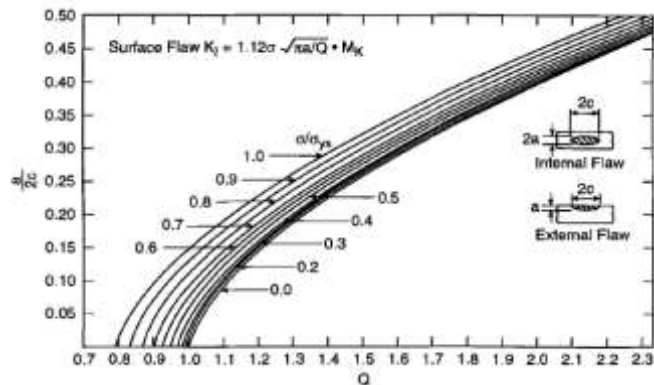
# **LAMPIRAN E.1.1**

## **TABEL PERHITUNGAN SIF**



**Gambar E1.6** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

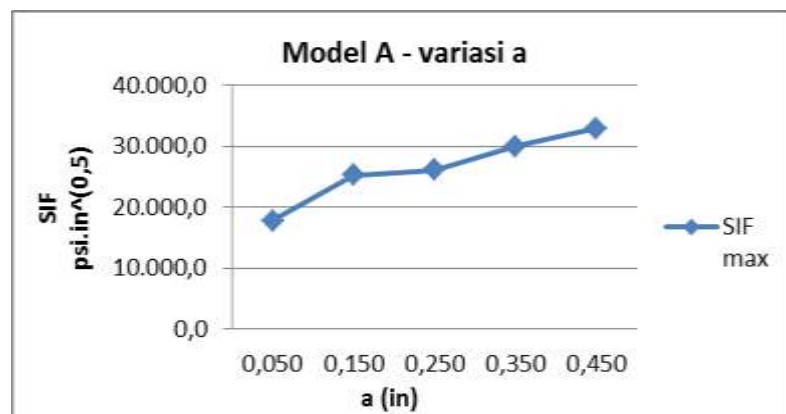
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar E1.7** *Flaw Shape Parameter Q*

Nominal stress Model A ( $\sigma$ ) = 34,179 psi

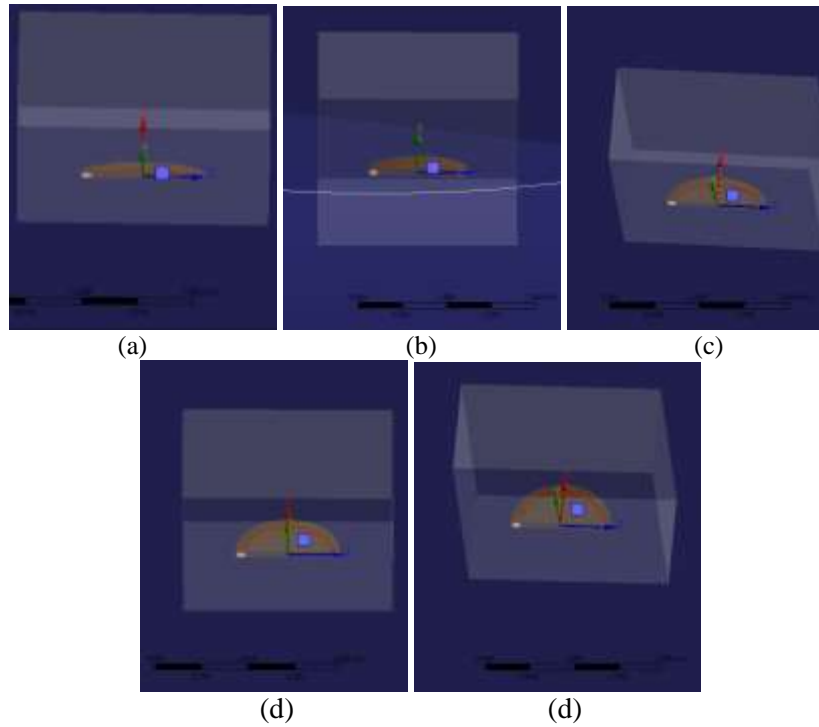
| Model | a/2c  | a<br>(in) | c<br>(in) | Max Normal<br>Stress<br>(psi) | SIFmax<br>psi.in <sup>^(0,5)</sup> | σ/σys | Q    | √ (π a/Q) | SIFmax   | %<br>error |
|-------|-------|-----------|-----------|-------------------------------|------------------------------------|-------|------|-----------|----------|------------|
| A1    | 0.050 | 0.050     | 0.500     | 1,055,200                     | 16,779                             | 0.68  | 0.90 | 0.42      | 15,988.4 | 4.71       |
| A2    | 0.150 | 0.150     | 0.500     | 473,880                       | 25,212                             | 0.68  | 1.09 | 0.66      | 25,163.7 | 0.19       |
| A3    | 0.250 | 0.250     | 0.500     | 489,130                       | 26,089                             | 0.68  | 1.37 | 0.76      | 28,976.9 | 9.97       |
| A4    | 0.350 | 0.350     | 0.500     | 581,080                       | 29,966                             | 0.68  | 1.86 | 0.77      | 29,452.2 | 1.80       |
| A5    | 0.450 | 0.450     | 0.500     | 633,640                       | 32,858                             | 0.68  | 2.23 | 0.81      | 30,471.1 | 7.26       |



# **LAMPIRAN E.2**

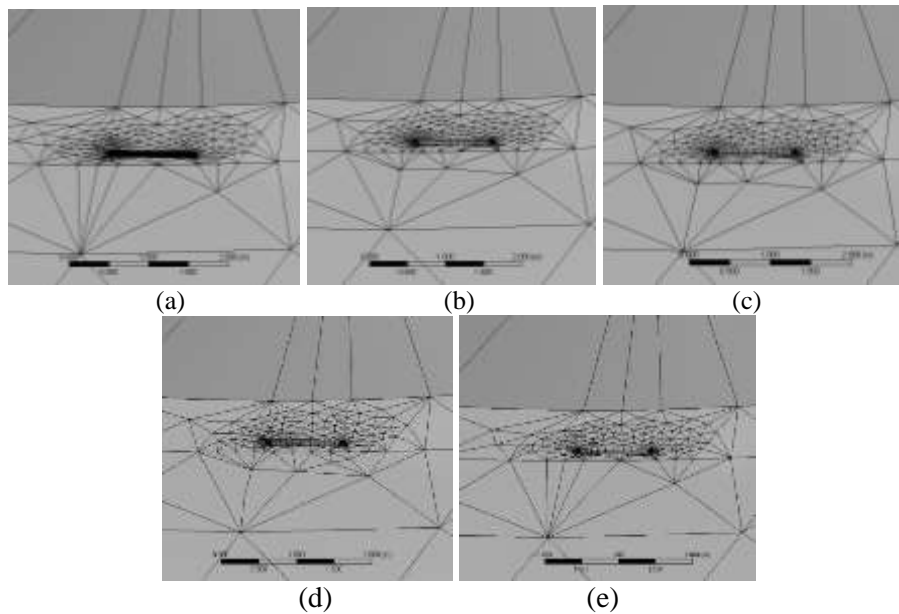
**MODEL B**

## Geometri Retak



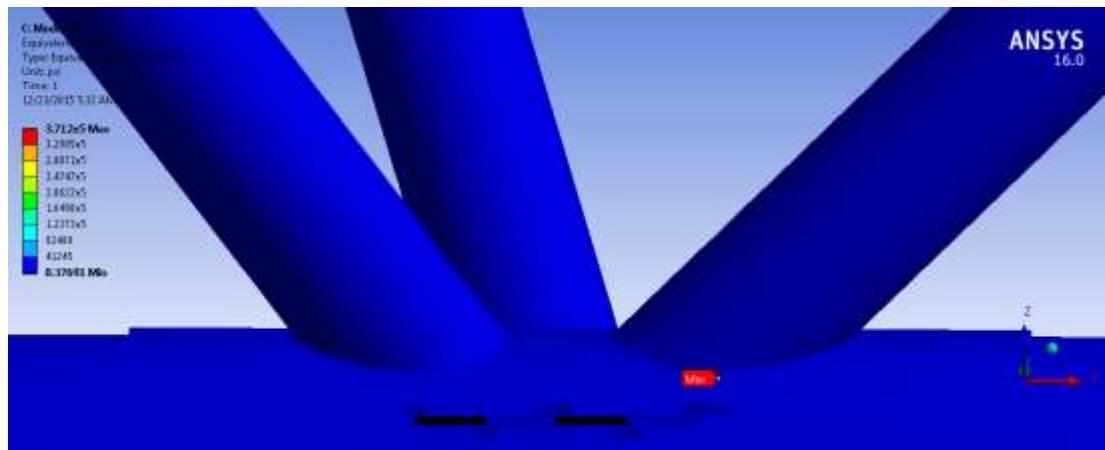
**Gambar E2.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

## *Crack Meshing*

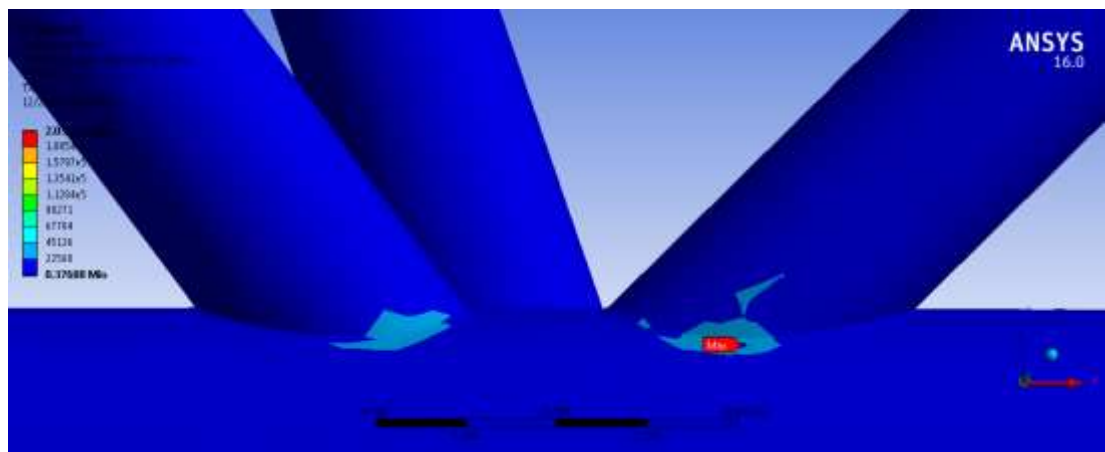


**Gambar E2.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

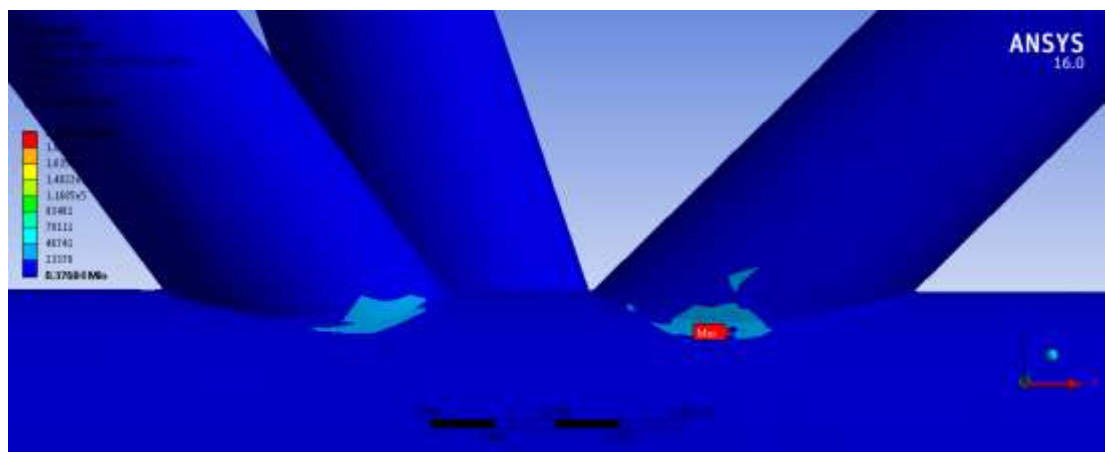
### *Maximum von-Mises Stress*



(a)

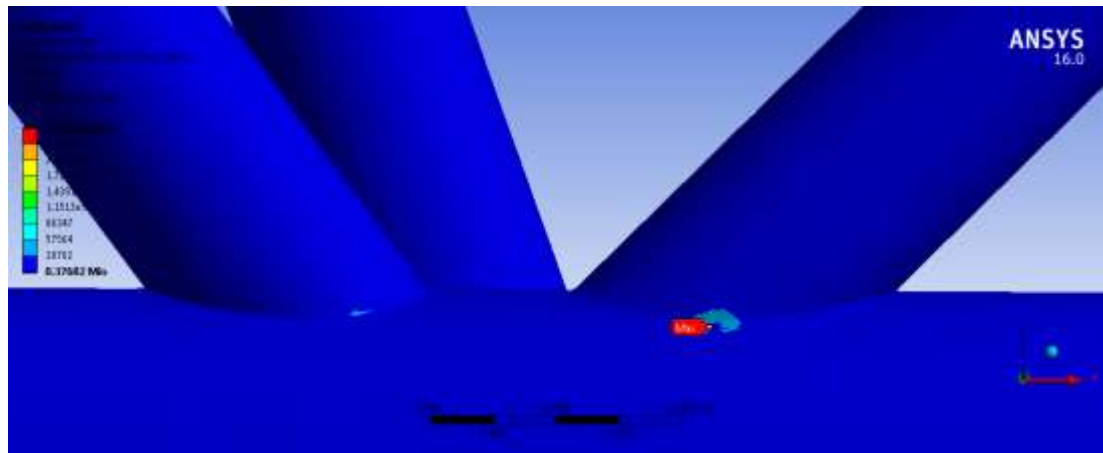


(b)

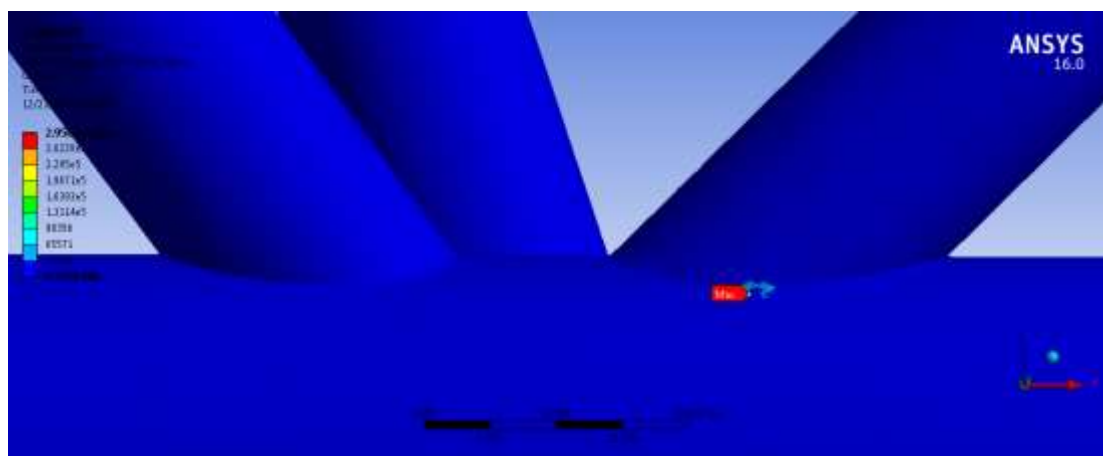


(c)





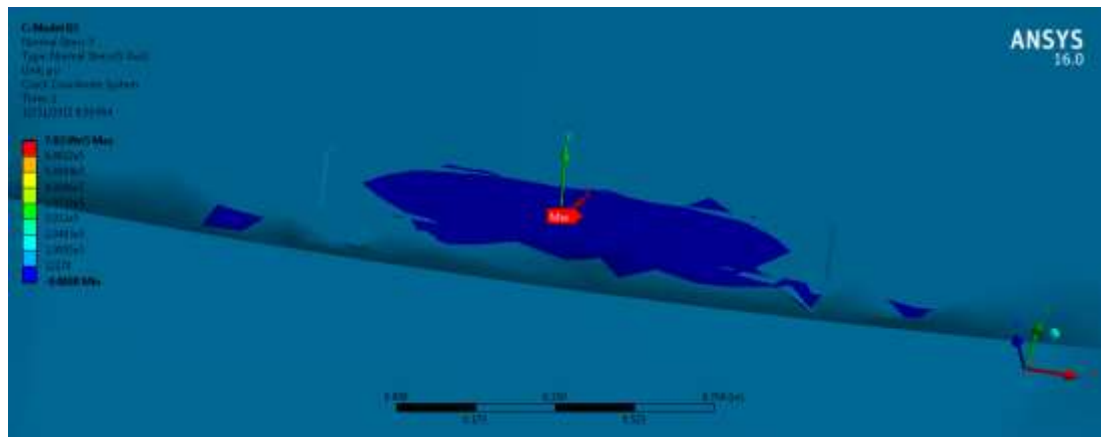
(d)



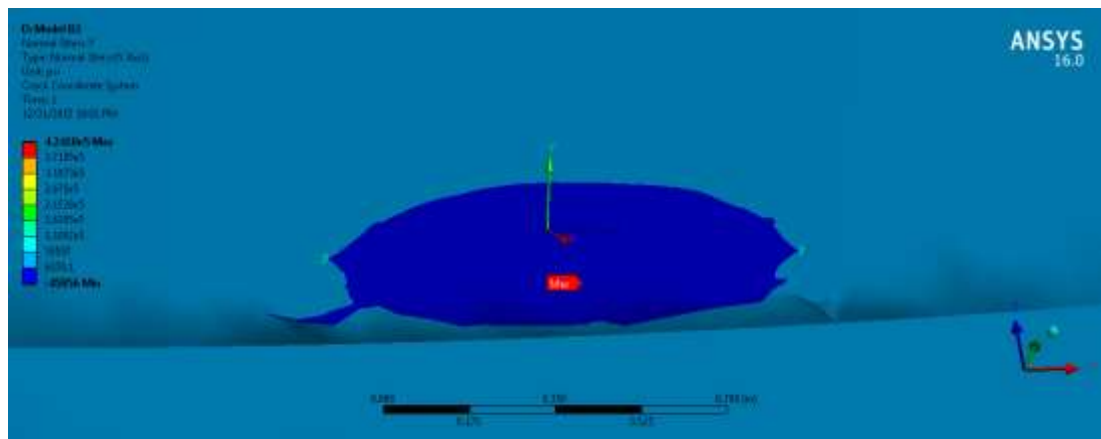
(e)

**Gambar E2.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

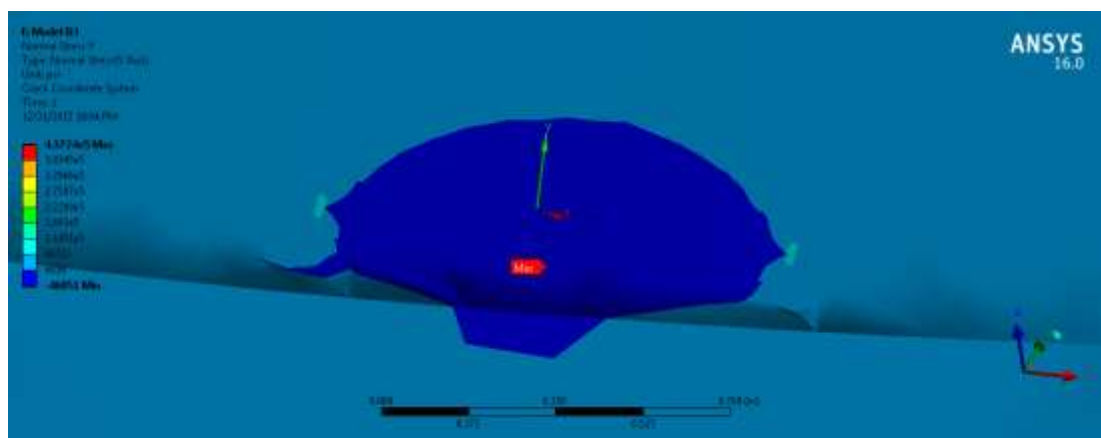
## Maximum Normal Stress



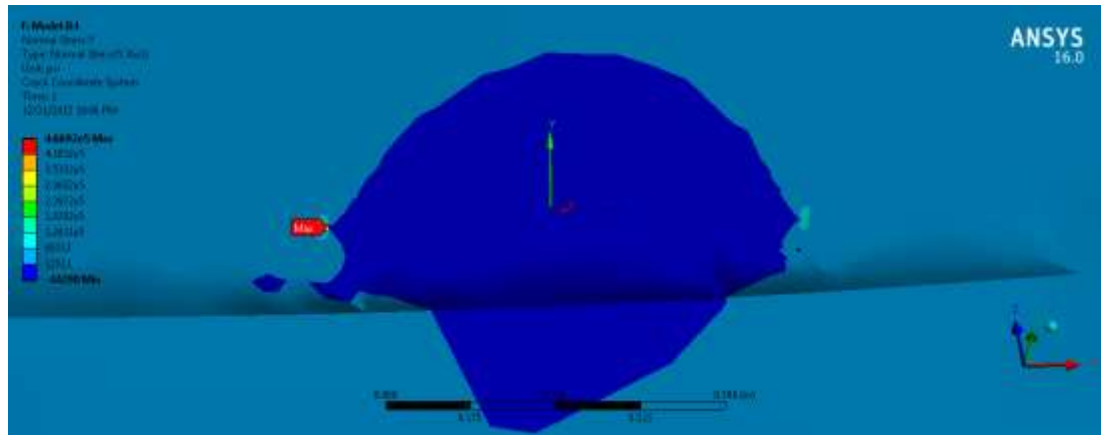
(a)



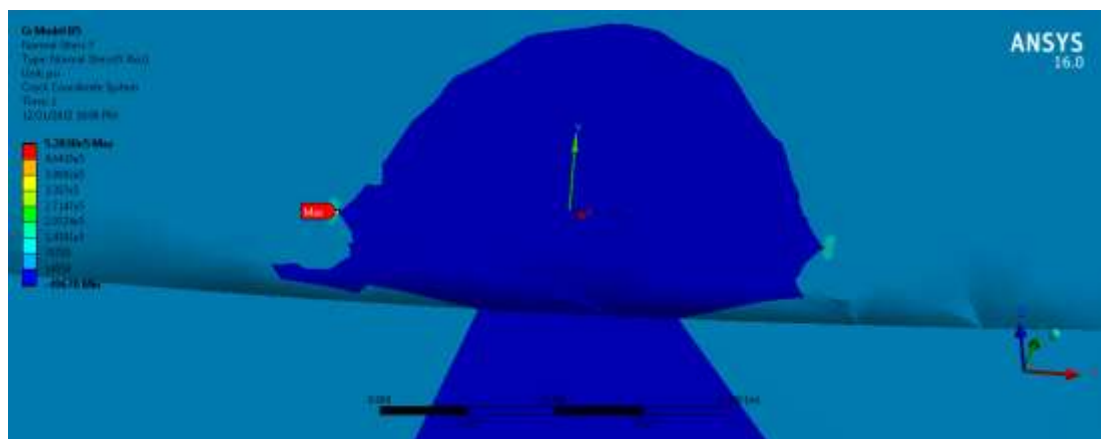
(b)



(c)



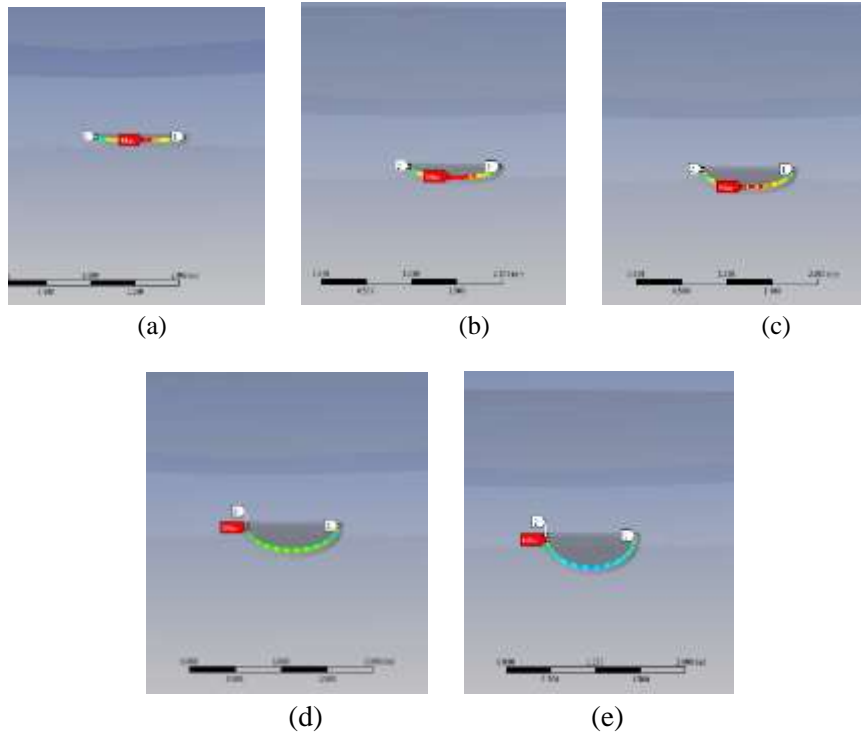
(d)



(e)

**Gambar E2.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

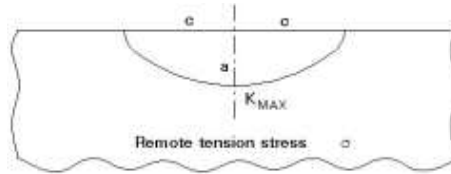
***Stress Intensity Factor (SIF)***



**Gambar E2.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

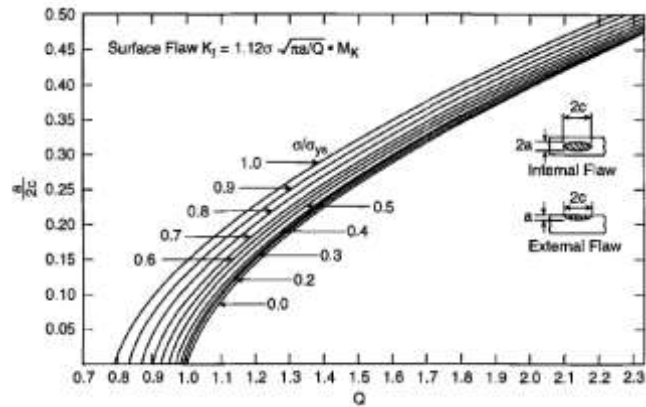
# **LAMPIRAN E.2.1**

## **TABEL PERHITUNGAN SIF**



**Gambar E2.6** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

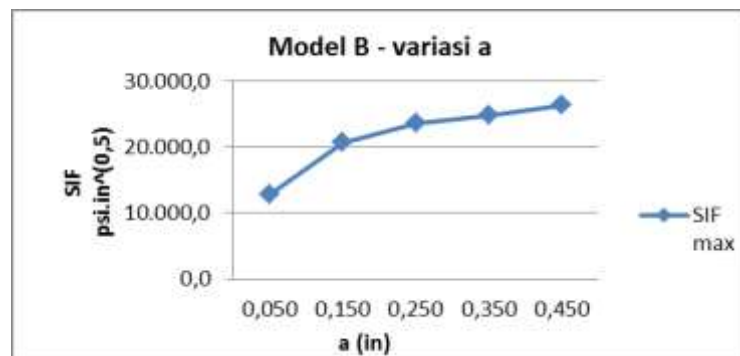
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar E2.7** *Flaw Shape Parameter Q*

Nominal stress Model B ( $\sigma$ ) = 30,282 psi

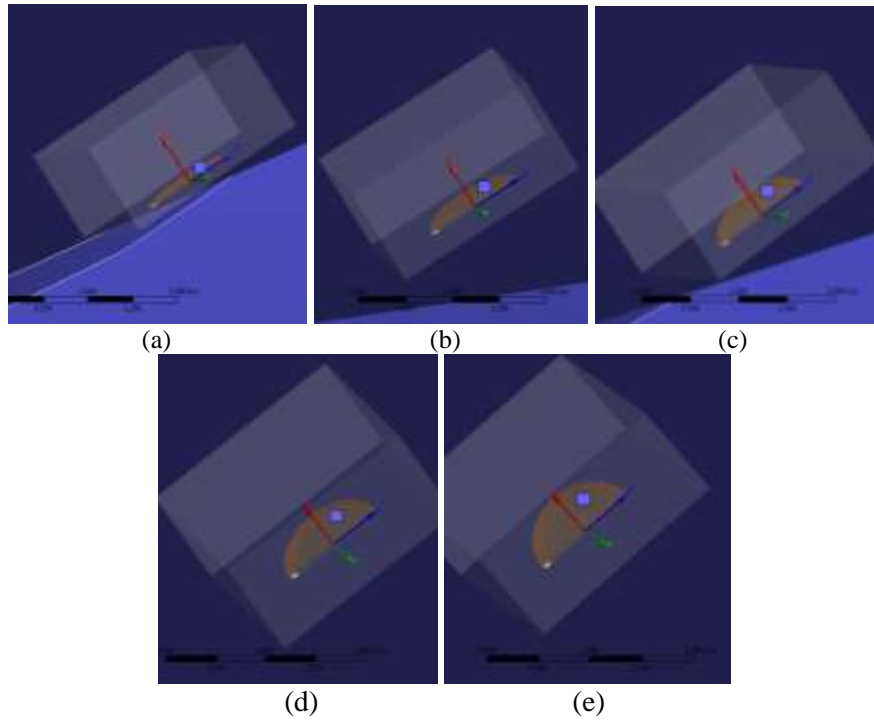
| Model | a/2c  | a<br>(in) | c<br>(in) | Max Normal<br>Stress<br>(psi) | SIFmax<br>psi.in <sup>0,5</sup> | σ/σys | Q    | √ (π a/Q) | SIFmax   | %<br>error |
|-------|-------|-----------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|-------|------|-----------|----------|------------|
| A1    | 0.050 | 0.050     | 0.500     | 782,490                       | 12,765                          | 0.61  | 0.98 | 0.40      | 13,575.0 | 5.97       |
| A2    | 0.150 | 0.150     | 0.500     | 424,180                       | 20,705                          | 0.61  | 1.15 | 0.64      | 21,705.2 | 4.61       |
| A3    | 0.250 | 0.250     | 0.500     | 437,240                       | 23,552                          | 0.61  | 1.42 | 0.74      | 25,217.0 | 6.60       |
| A4    | 0.350 | 0.350     | 0.500     | 466,920                       | 24,777                          | 0.61  | 1.8  | 0.78      | 26,501.2 | 6.51       |
| A5    | 0.450 | 0.450     | 0.500     | 528,380                       | 26,331                          | 0.61  | 2.18 | 0.81      | 27,305.2 | 3.57       |



# **LAMPIRAN E.3**

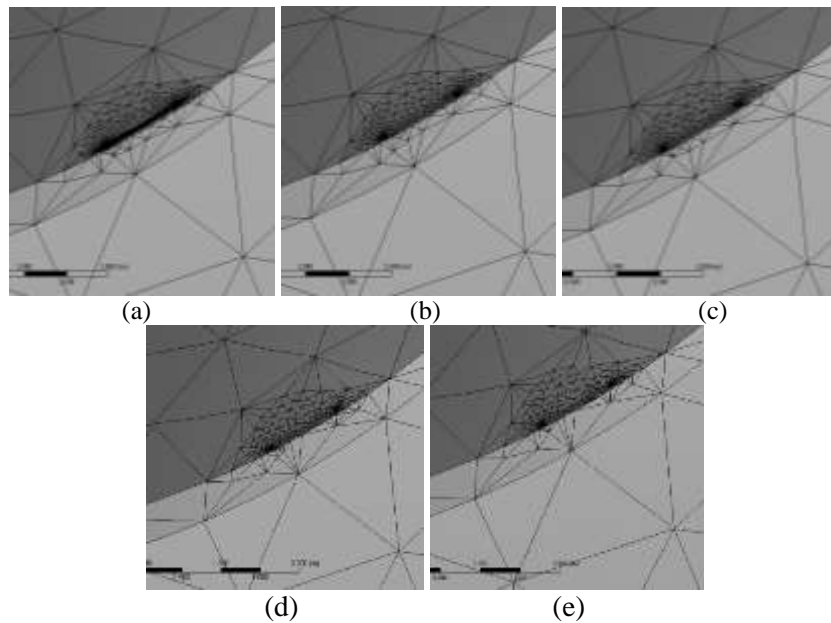
MODEL C

### Geometri Retak



**Gambar E3.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

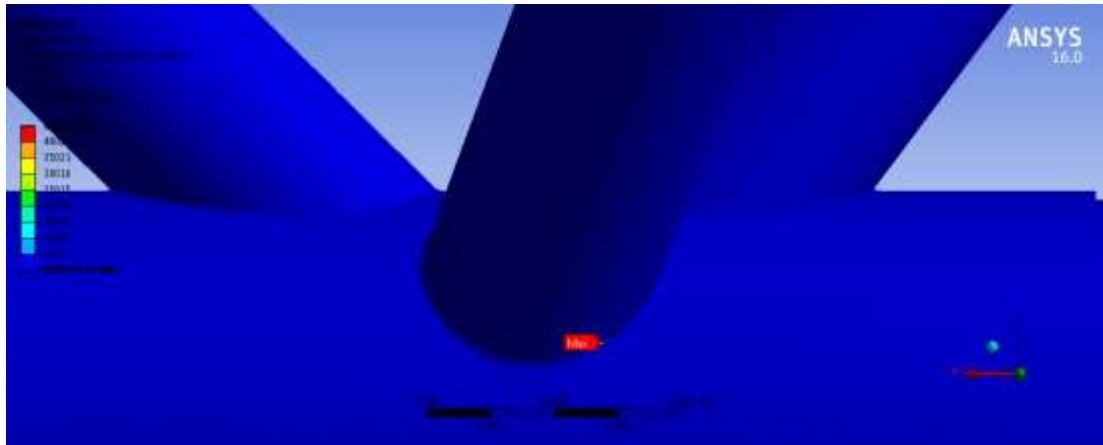
### *Crack Meshing*



**Gambar E3.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5



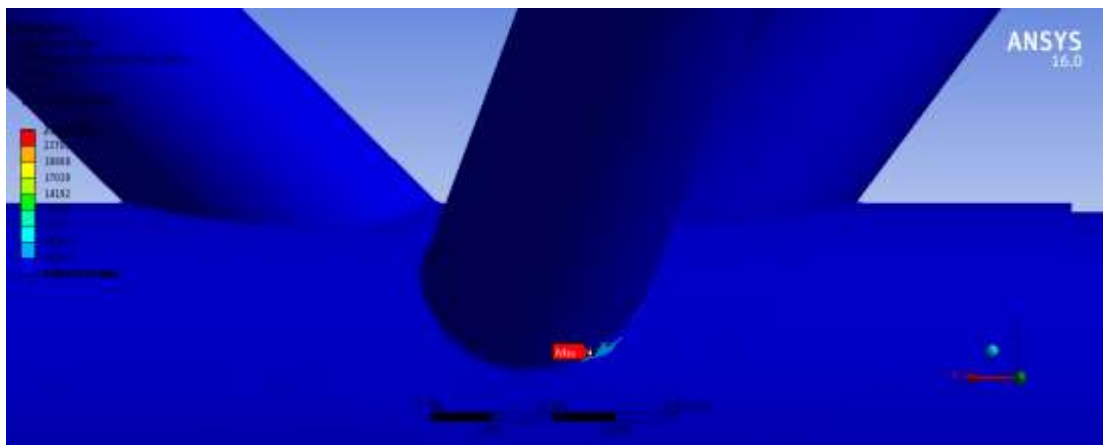
*Maximum von-Mises Stress*



(a)



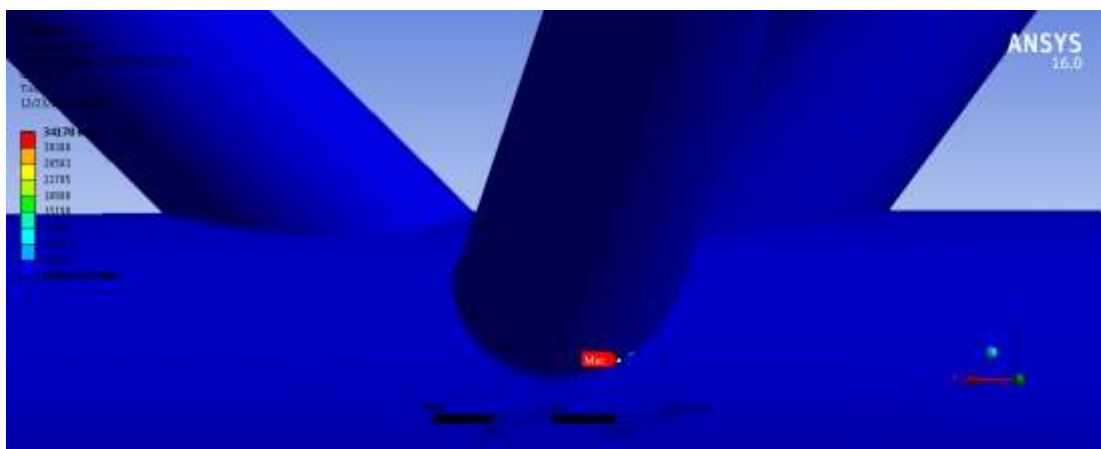
(b)



(c)



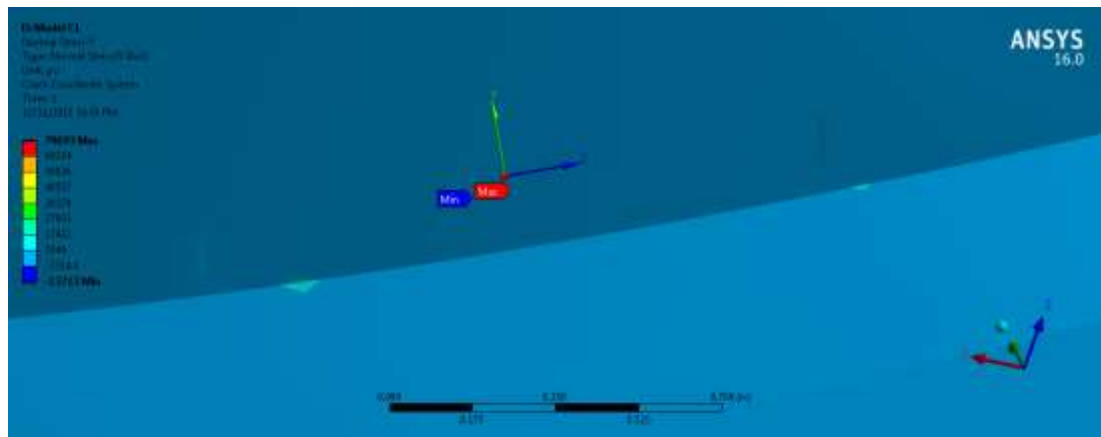
(d)



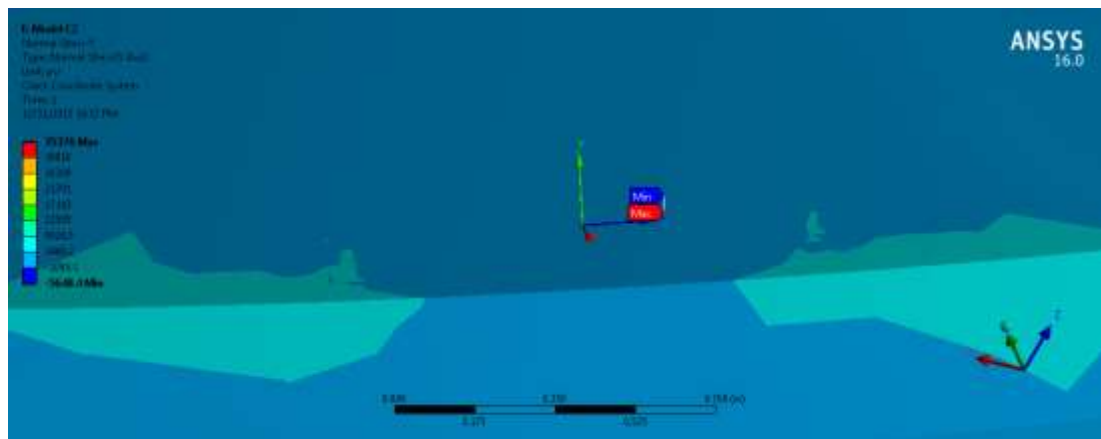
(e)

**Gambar E3.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

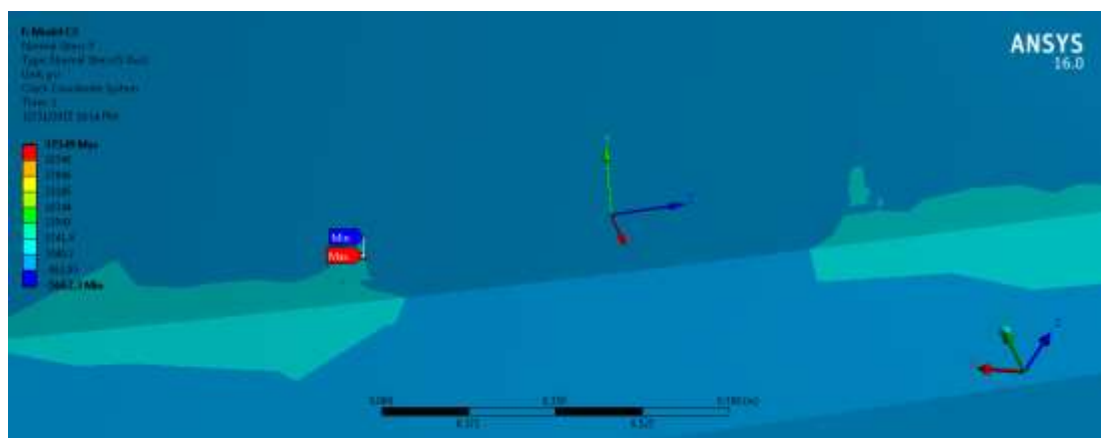
## Maximum Normal Stress



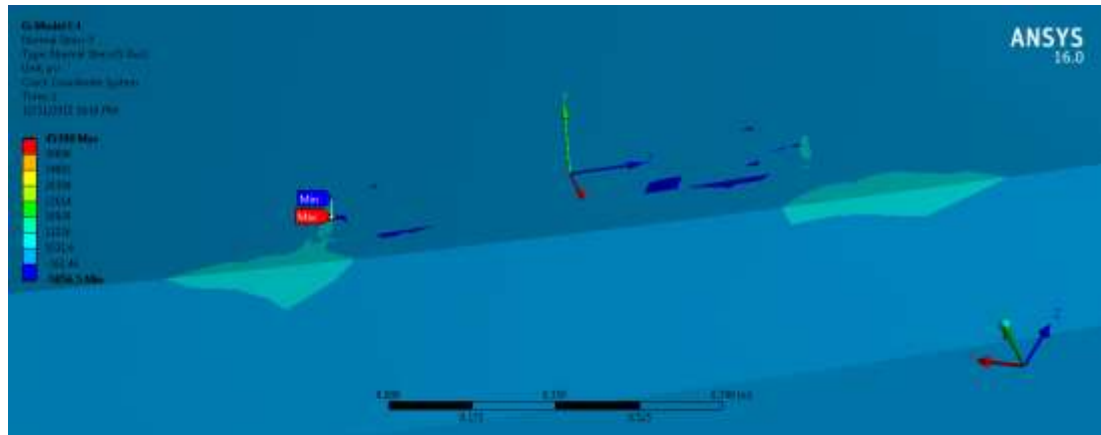
(a)



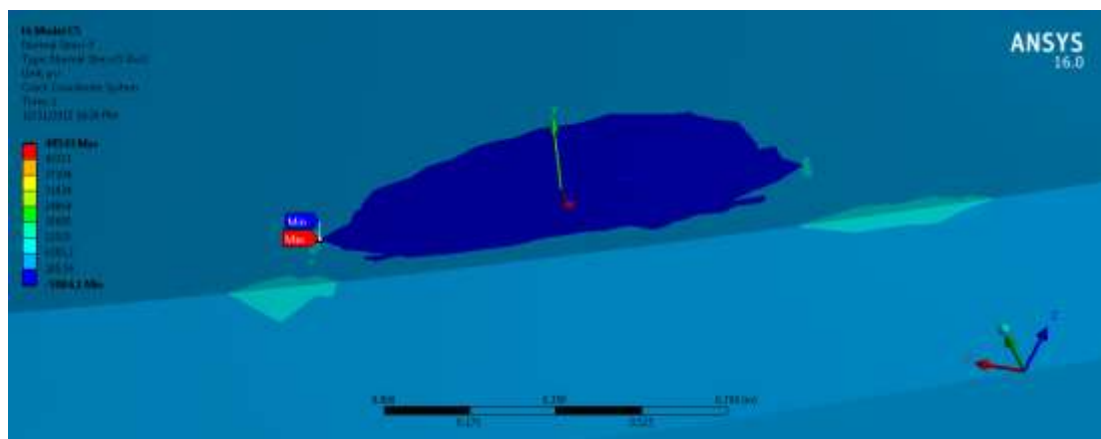
(b)



(c)



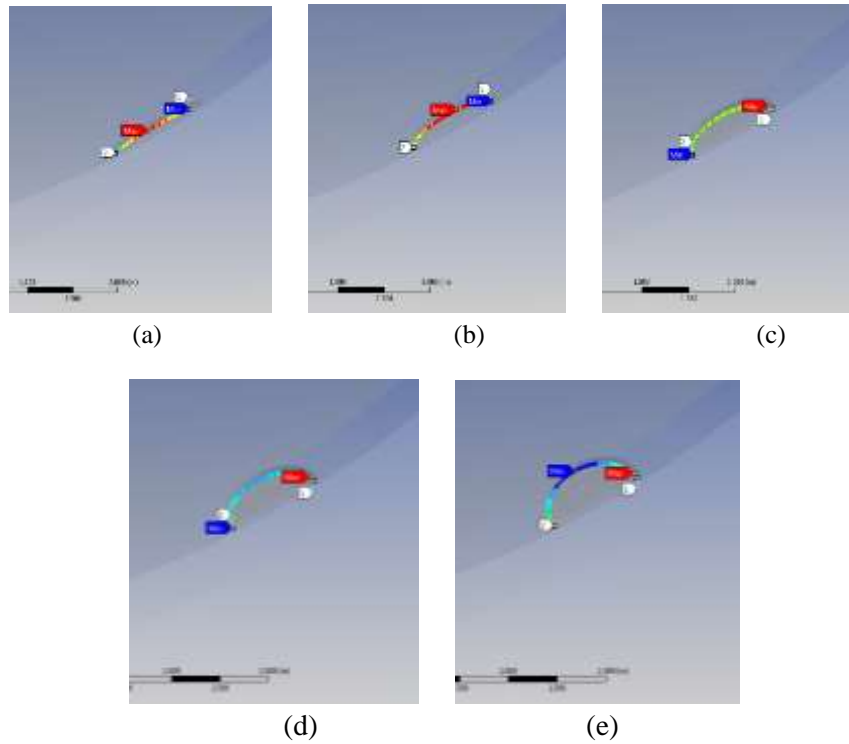
(d)



(e)

**Gambar E3.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

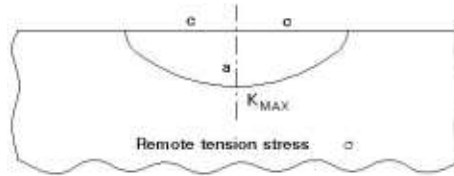
***Stress Intensity Factor (SIF)***



**Gambar E3.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

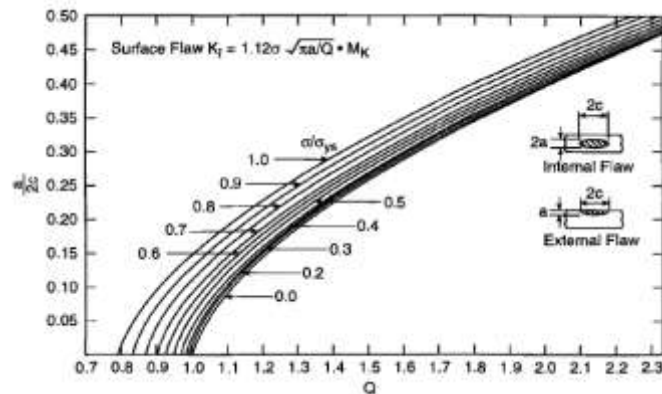
# **LAMPIRAN E.3.1**

## **TABEL PERHITUNGAN SIF**



**Gambar E3.6** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

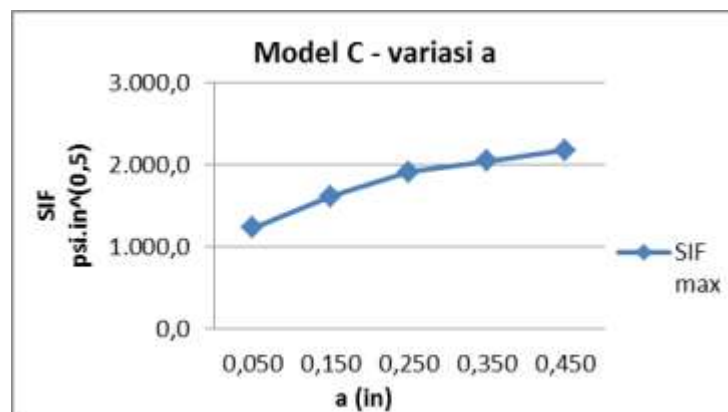
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar E3.7** *Flaw Shape Parameter Q*

Nominal stress Model C ( $\sigma$ ) = 2,561 psi

| Model | a/2c  | a     | c     | Max Normal Stress | SIFmax                   | $\sigma/\sigma_{ys}$ | Q    | $\sqrt{\pi a/Q}$ | SIFmax  | % error |
|-------|-------|-------|-------|-------------------|--------------------------|----------------------|------|------------------|---------|---------|
|       |       | (in)  | (in)  | (psi)             | psi.in <sup>^(0,5)</sup> |                      |      |                  |         |         |
| A1    | 0.050 | 0.050 | 0.500 | 79,693            | 1,236                    | 0.05                 | 1.03 | 0.39             | 1,119.8 | 9.39    |
| A2    | 0.150 | 0.150 | 0.500 | 35,376            | 1,618                    | 0.05                 | 1.23 | 0.62             | 1,774.9 | 8.82    |
| A3    | 0.250 | 0.250 | 0.500 | 37,549            | 1,912                    | 0.05                 | 1.48 | 0.73             | 2,089.0 | 8.47    |
| A4    | 0.350 | 0.350 | 0.500 | 45,390            | 2,043                    | 0.05                 | 1.82 | 0.78             | 2,228.9 | 8.34    |
| A5    | 0.450 | 0.450 | 0.500 | 49,543            | 2,177                    | 0.05                 | 2.25 | 0.79             | 2,273.0 | 4.21    |



# **LAMPIRAN F**

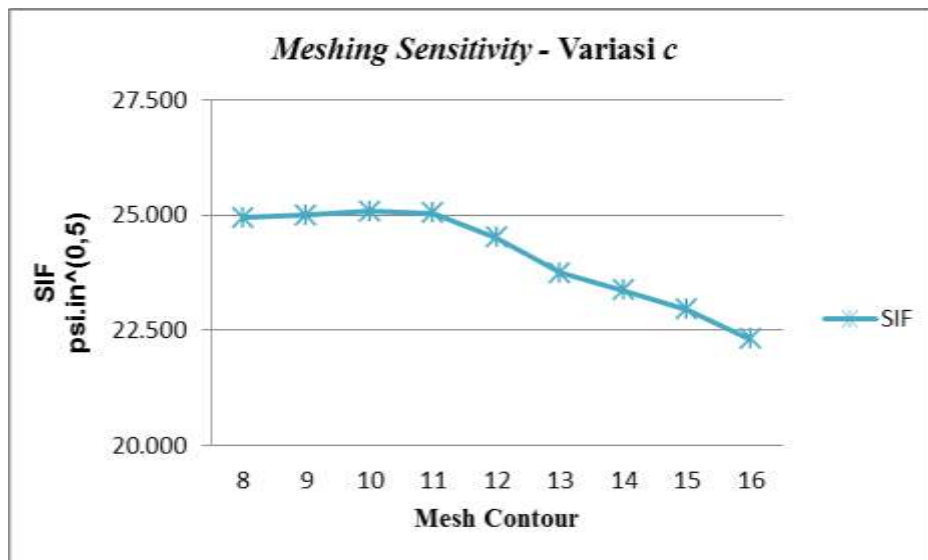
## ***MESH SENSITIVITY***



### Variasi Crack $c$

**Tabel F.1** Hasil *Meshing* Setiap *Mesh Contour* – Variasi Crack  $c$

| <i>Mesh Contour</i> | SIF<br>$\text{psi.in}^{(0,5)}$ |
|---------------------|--------------------------------|
| 8                   | 24,946                         |
| 9                   | 24,992                         |
| 10                  | 25,077                         |
| 11                  | 25,050                         |
| 12                  | 24,517                         |
| 13                  | 23,742                         |
| 14                  | 23,364                         |
| 15                  | 22,948                         |
| 16                  | 22,299                         |

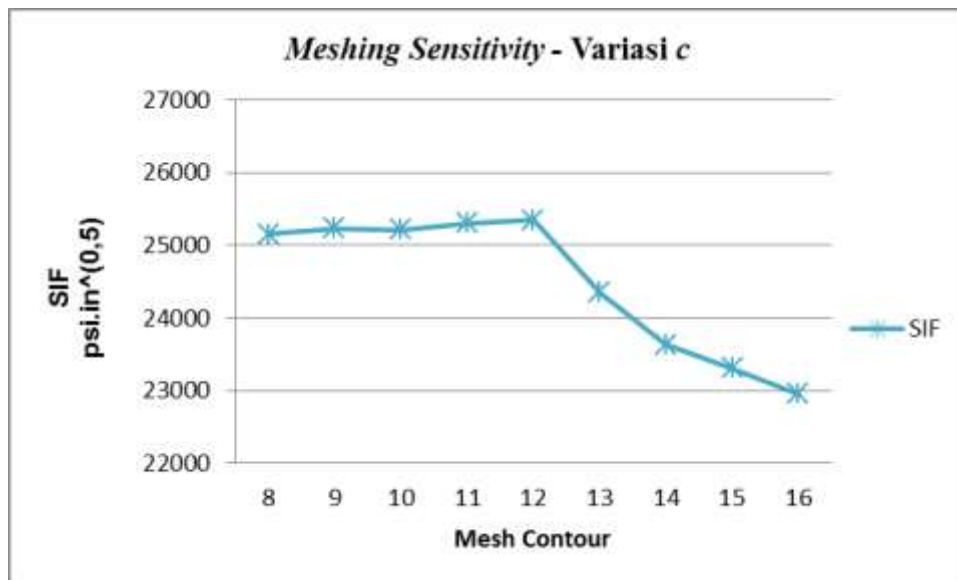


**Gambar F.1** Grafik Sensitivitas *Meshing* Terhadap Nilai SIF – Variasi Crack  $c$

## Variasi *Crack a*

**Tabel F.2** Hasil *Meshing* Setiap *Mesh Contour* – Variasi *Crack a*

| <i>Mesh Contour</i> | SIF<br>$\text{psi.in}^{(0,5)}$ |
|---------------------|--------------------------------|
| 8                   | 25,150                         |
| 9                   | 25,232                         |
| 10                  | 25,212                         |
| 11                  | 25,308                         |
| 12                  | 24,353                         |
| 13                  | 24,353                         |
| 14                  | 23,640                         |
| 15                  | 23,308                         |
| 16                  | 22,958                         |



**Gambar F.2** Grafik Sensitivitas *Meshing* Terhadap Nilai SIF – Variasi *Crack a*

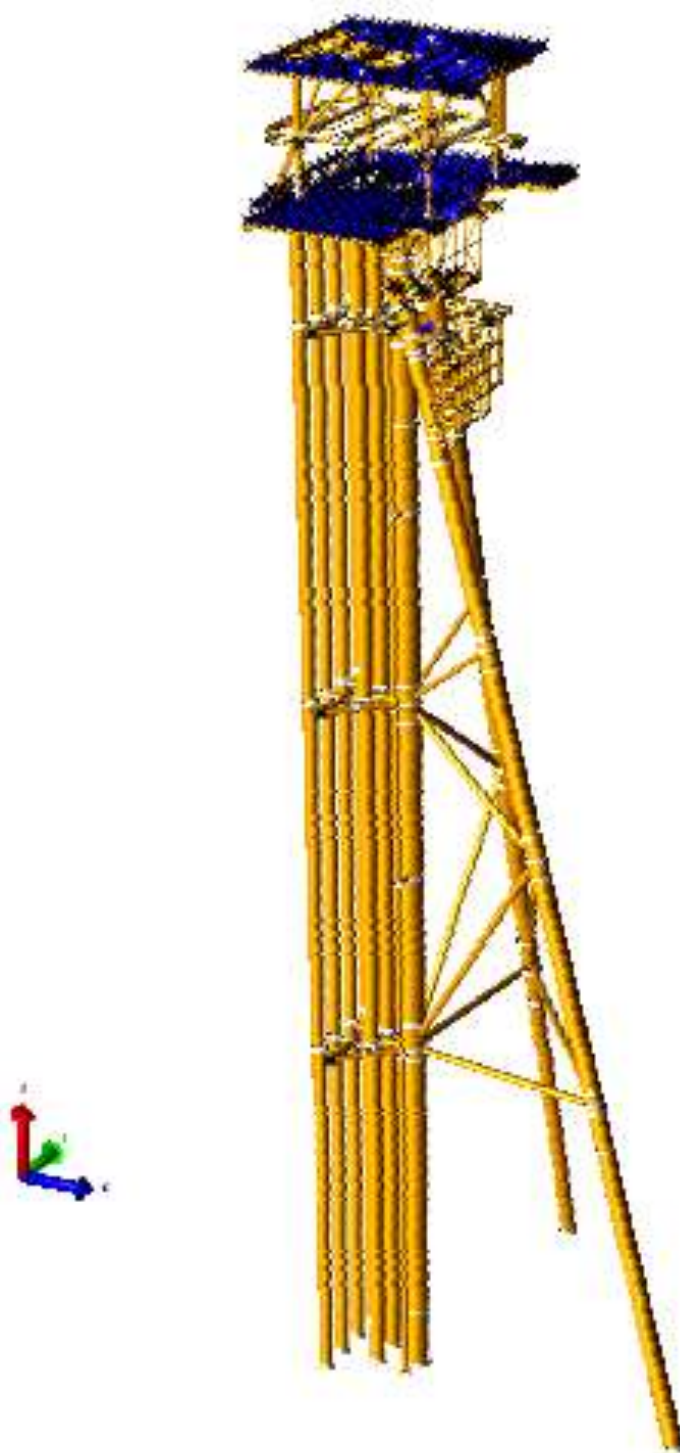
**LAMPIRAN A**

**DATA AWAL**

# **LAMPIRAN A.1**

*PLATFORM - ISOMETRIC VIEW*

Active Structure

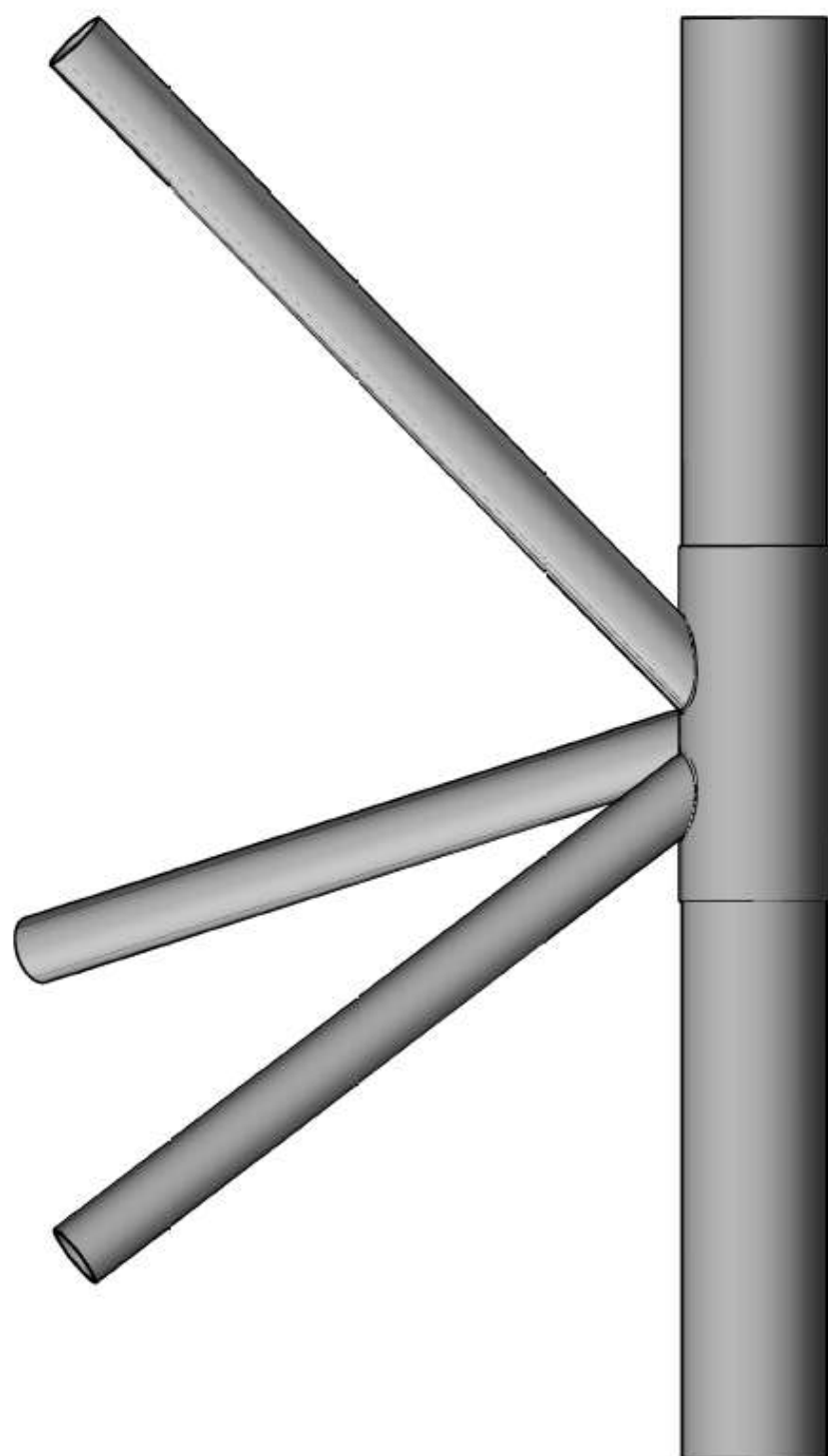


Active Structure



# **LAMPIRAN A.2**

## **STRUKTUR LOKAL**





# **LAMPIRAN A.3**

## **DATA GEOMETRI DAN MATERIAL**

### **Geometri *Multi-planar Tubular Joint***

|                  | <i>Thickness (<math>t</math>)</i><br>(in) | <i>Outside Diameter (<math>OD</math>)</i><br>(in) | <i>Inside Diameter (<math>ID</math>)</i><br>(in) | <i>Length (<math>L</math>)</i><br>(in) |
|------------------|---|---|--|--|
| <i>Chord</i>     | 0,5                                       | 39  | 38   | 390                                    |
| <i>Joint Can</i> | 1,25                                      | 40,5  | 38   | 96                                     |
| <i>Brace A</i>   | 0,75                                      | 18  | 16,5   | 224,38                                 |
| <i>Brace B</i>   | 0,5                                       | 18  | 17   | 235                                    |
| <i>Brace C</i>   | 0,5                                       | 18  | 17   | 248,31                                 |

### ***Material Properties* pada *Multi-planar Tubular Joint***

| <i>Spec &amp; Grade</i> | <i>Yield Strength <math>\sigma_y</math></i><br>( <i>ksi</i> ) | <i>Mod Young <math>E</math></i><br>( <i>ksi</i> ) | <i>Shear Modulus <math>G</math></i><br>( <i>ksi</i> ) | <i>Poisson's Ratio <math>\nu</math></i> |
|-------------------------|---|---|---|---|
| API 2H Grade<br>50      | 50  | 29  | 11,6  | 0,3                                     |

# **LAMPIRAN B**

## **VARIASI PEMODELAN**

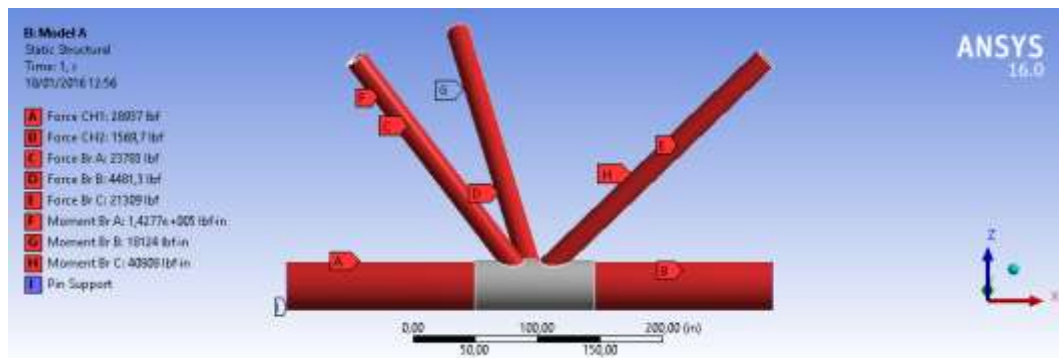
# **LAMPIRAN B.1**

## **VARIASI BEBAN**

## MODEL A

**Tabel B1.1** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model A

| Member | Moment (lbf-in) |            |            | Force (lbf) |            |         |
|--------|-----------------|------------|------------|-------------|------------|---------|
|        | x               | y          | z          | x           | y          | z       |
| Ch 1   | 95.487,96       | -51.970,72 | 49.720,29  | -141,62     | 28.935,46  | -279,95 |
| Ch 2   | 83.378,63       | -44.194,39 | 62.258,65  | 118,24      | -1.556,8   | 162,27  |
| JC 1   | 287.080         | -135.550   | 148.280    | -346,7      | 75.240     | -730,4  |
| JC 2   | 278.200         | -132.910   | 202600     | 344,78      | -4.480,8   | 489,6   |
| Br A   | 139.674,5       | -24.881,56 | -15.963,08 | -65,66      | -23.778,82 | 430,85  |
| Br B   | 10.747,01       | 4.906,19   | 13.744,96  | -85,83      | -4.479,7   | -83,97  |
| Br C   | -37.958,82      | 14.408,91  | 4.099,66   | -50,13      | 21.309,02  | 97,41   |

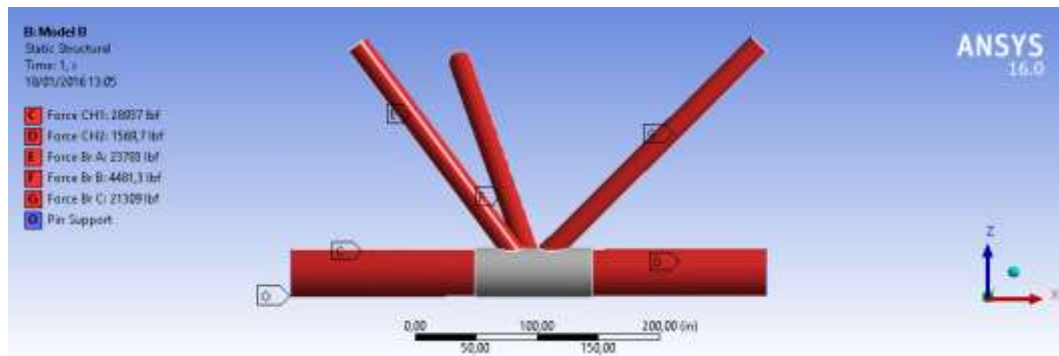


**Gambar B1.1** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model A

## MODEL B

**Tabel B1.2** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model B

| Member | Force (lbf) |            |         |
|--------|-------------|------------|---------|
|        | x           | y          | z       |
| Ch 1   | -141,62     | 28.935,46  | -279,95 |
| Ch 2   | 118,24      | -1.556,8   | 162,27  |
| JC 1   | -346,7      | 75.240     | -730,4  |
| JC 2   | 344,78      | -4.480,8   | 489,6   |
| Br A   | -65,66      | -23.778,82 | 430,85  |
| Br B   | -85,83      | -4.479,7   | -83,97  |
| Br C   | -50,13      | 21.309,02  | 97,41   |

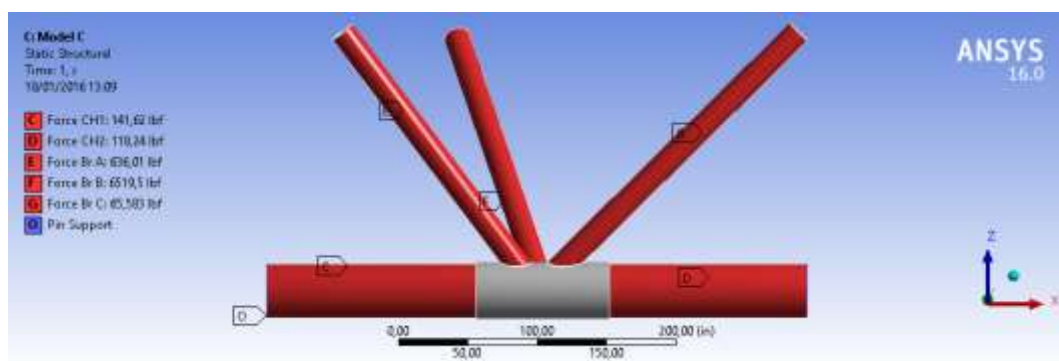


**Gambar B1.2** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model B

## MODEL C

**Tabel B1.3** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model C

| <i>Member</i> | <i>Axial Force</i><br>(lbf) |
|---------------|-----------------------------|
| Ch 1          | -141.62                     |
| Ch 2          | 118.24                      |
| JC 1          | -346.7                      |
| JC 2          | -344.78                     |
| Br A          | 636.01                      |
| Br B          | 6519.5                      |
| Br C          | 65.583                      |

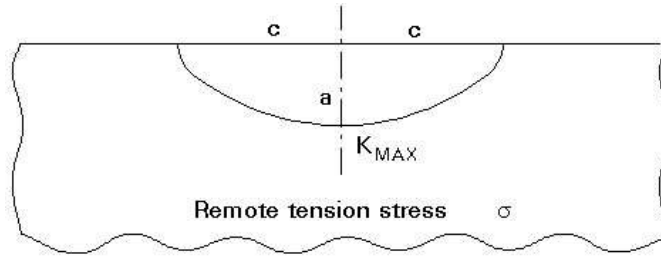


**Gambar B1.3** Pembebanan pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* – Model C

# **LAMPIRAN B.2**

**VARIASI *CRACK***





**Gambar B2.1** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

**Tabel B2.1** *Geometri Surface Crack (Semi Elliptical)- Variasi  $c$*

|         | $a/2c$ | $a$ (in) | $c$ (in) |
|---------|--------|----------|----------|
| Model 1 | 0,05   | 0,1      | 1,000    |
| Model 2 | 0,15   | 0,1      | 0,333    |
| Model 3 | 0,25   | 0,1      | 0,2      |
| Model 4 | 0,35   | 0,1      | 0,143    |
| Model 5 | 0,45   | 0,1      | 0,111    |

**Tabel B2.2** *Geometri Surface Crack (Semi Elliptical)- Variasi  $a$*

|         | $a/2c$ | $a$ (in) | $c$ (in) |
|---------|--------|----------|----------|
| Model 1 | 0,05   | 0,05     | 0,5      |
| Model 2 | 0,15   | 0,15     | 0,5      |
| Model 3 | 0,25   | 0,25     | 0,5      |
| Model 4 | 0,35   | 0,35     | 0,5      |
| Model 5 | 0,45   | 0,45     | 0,5      |

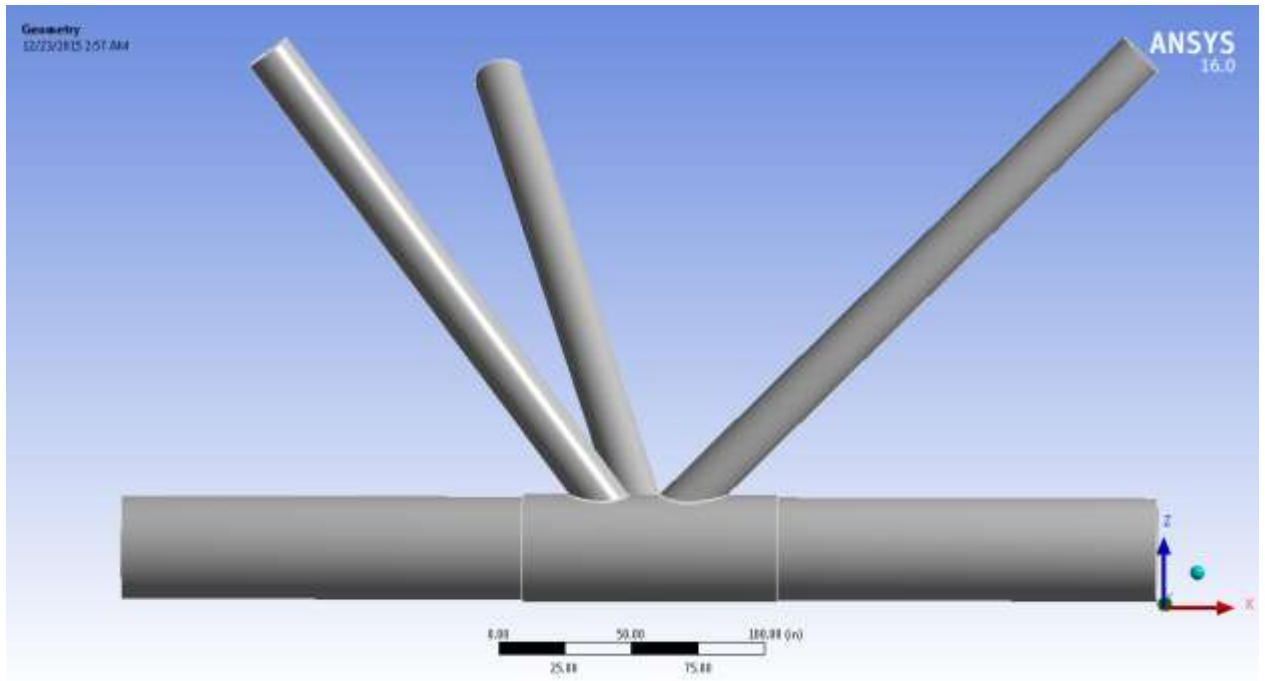
# **LAMPIRAN C**

## **HASIL PEMODELAN DASAR**

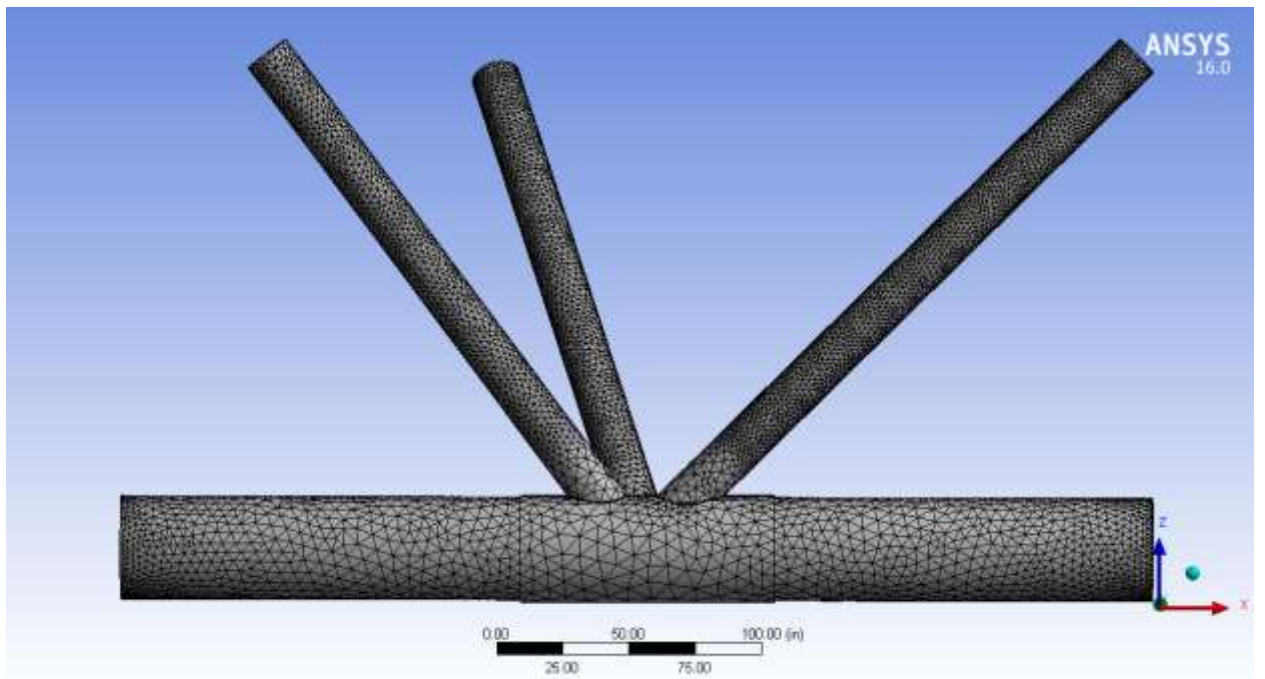
# **LAMPIRAN C.1**

MODEL A

## GEOMETRI DAN *MESH*

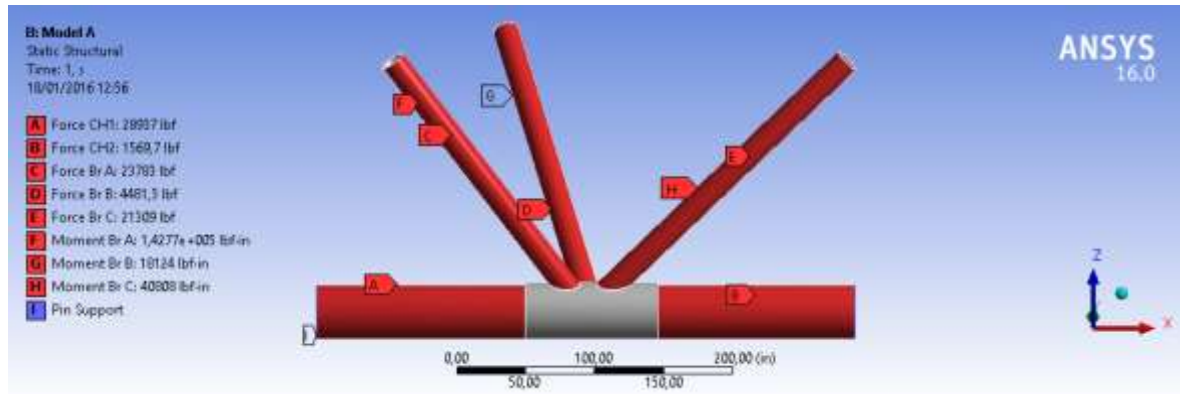


**Gambar C1.1** Model A - Geometri *Multiplanar Tubular Joint*

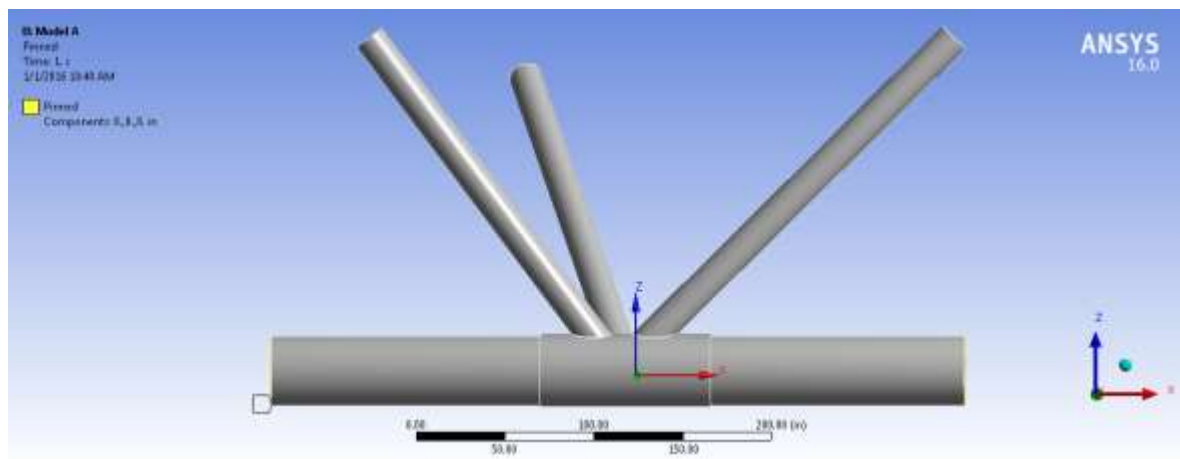


**Gambar C1.2** Model A – *Mesh* pada *Multiplanar Tubular Joint*

## PEMBEBANAN DAN KONDISI BATAS

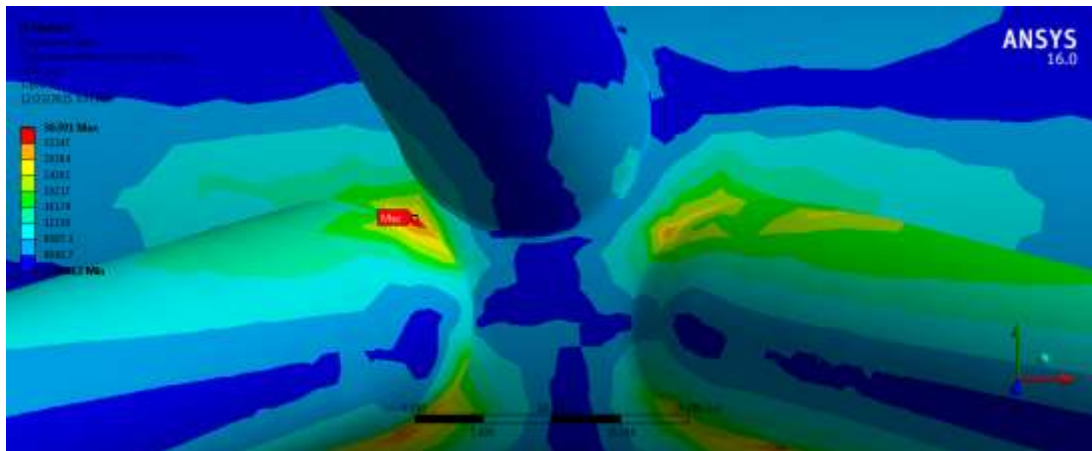


**Gambar C1.3** Model A – Pembebanan pada *Multiplanar Tubular Joint*

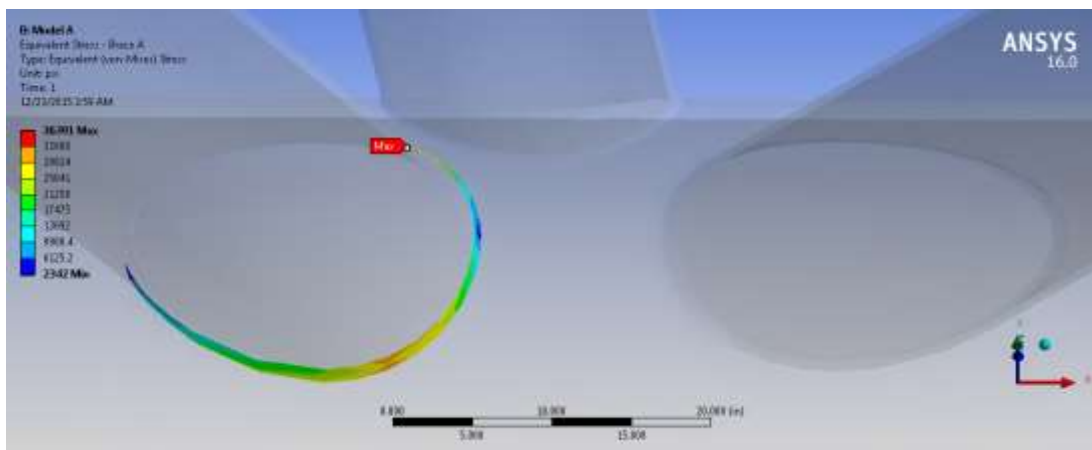


**Gambar C1.4** Model A – Kondisi Batas pada *Multiplanar Tubular Joint*

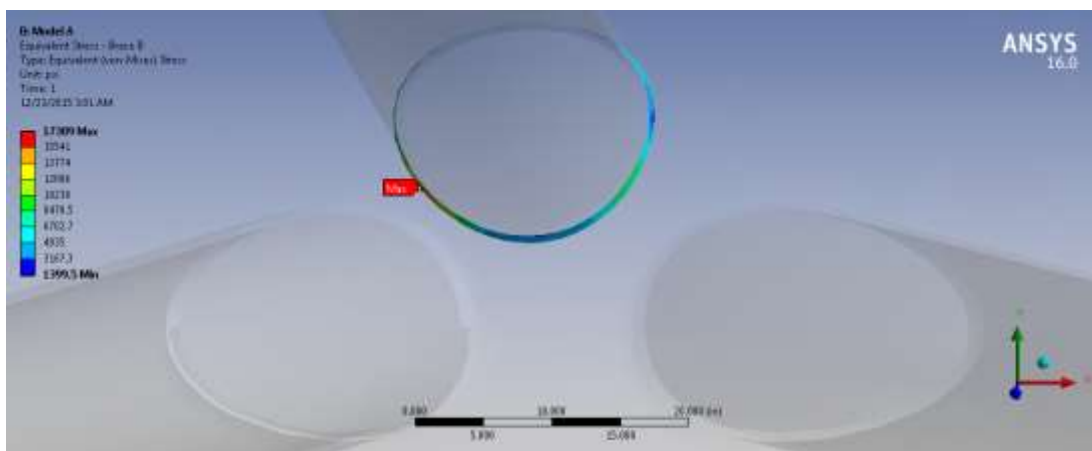
## ***EQUIVALENT STRESS (von Mises)***



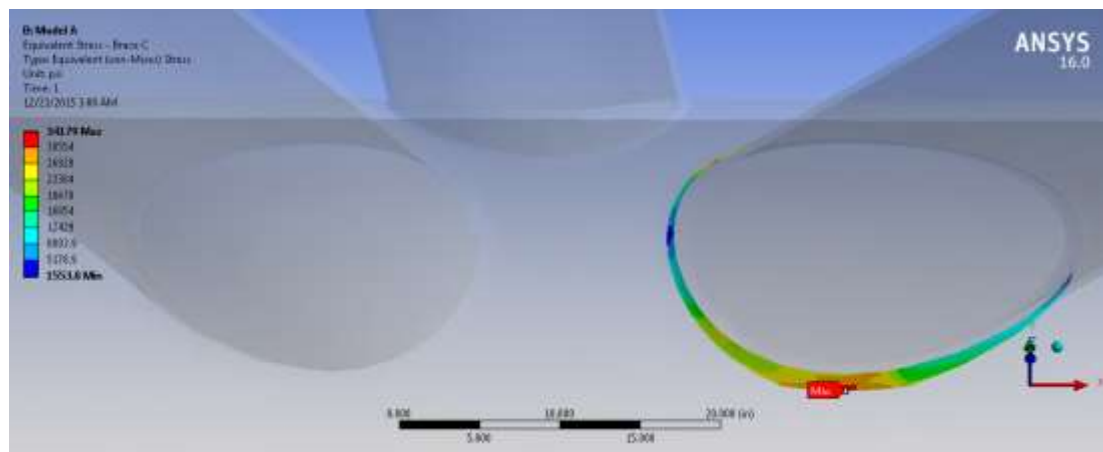
**Gambar C1.5** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model A



**Gambar C1.6** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model A – Brace A

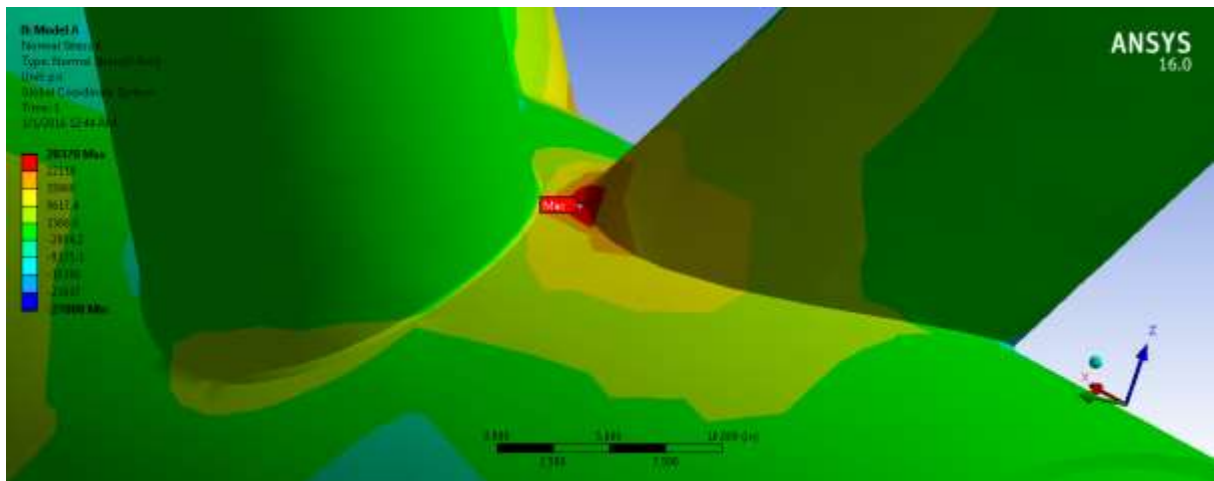


**Gambar C1.7** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model A – Brace B

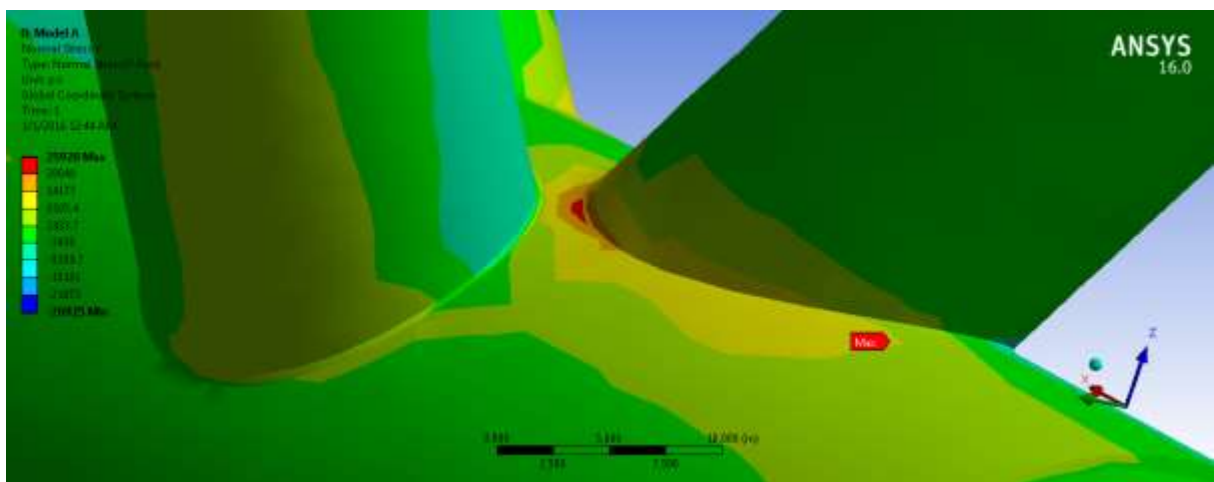


**Gambar C1.8** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint*  
 - Model A – Brace C

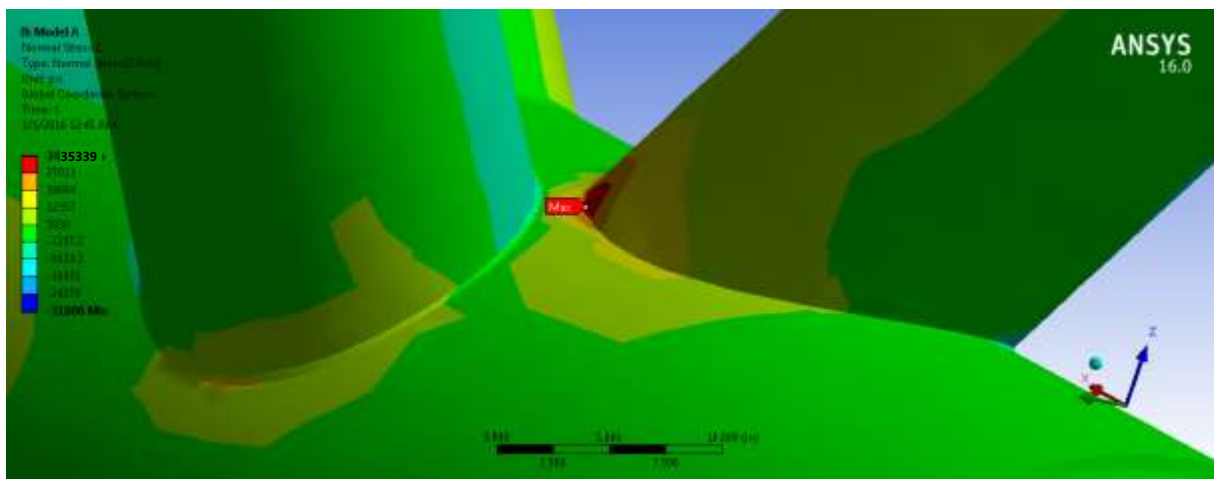
## ***NORMAL STRESS***



**Gambar C1.9** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model A – X Axis



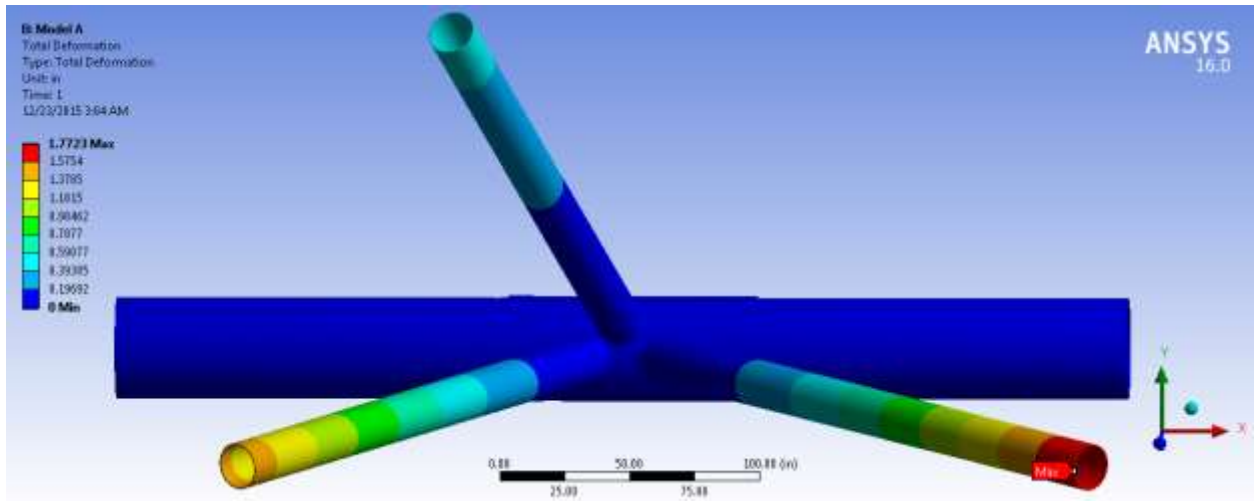
**Gambar C1.10** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model A – X Axis



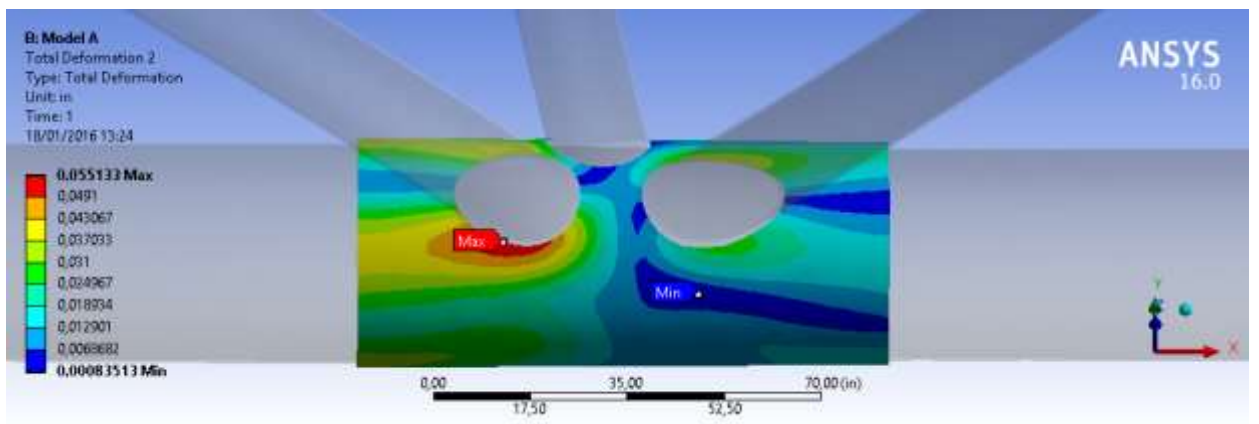
**Gambar C1.11** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model A – X Axis



## ***TOTAL DEFORMATION***



**Gambar C1.12** *Total Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model A*

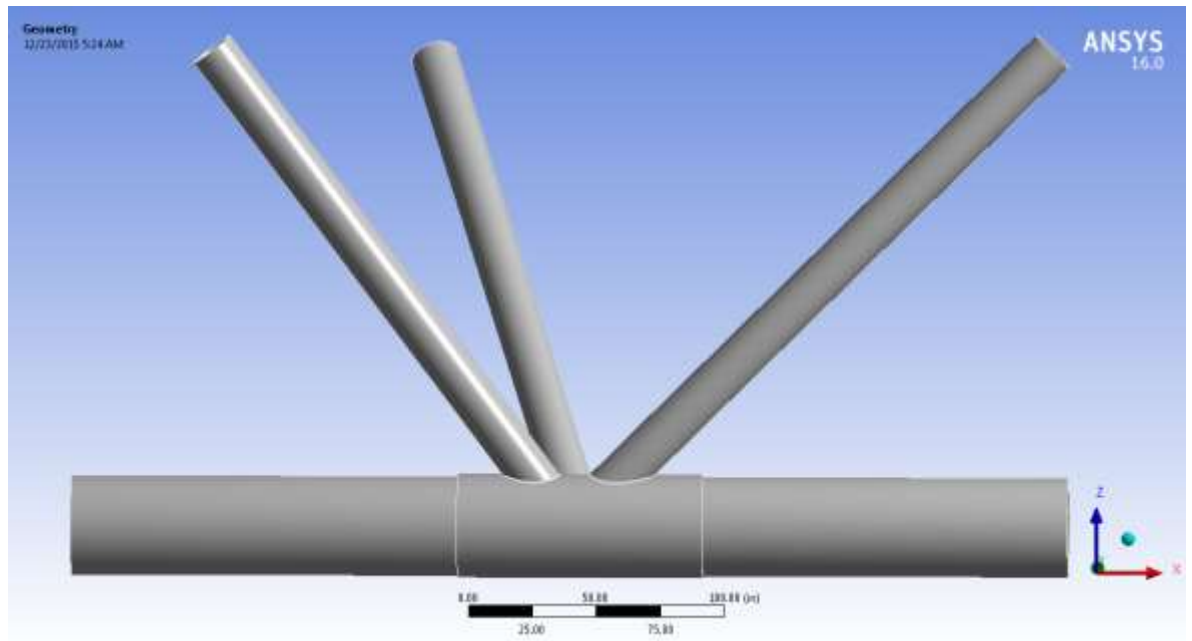


**Gambar C1.13** *Local Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model A*

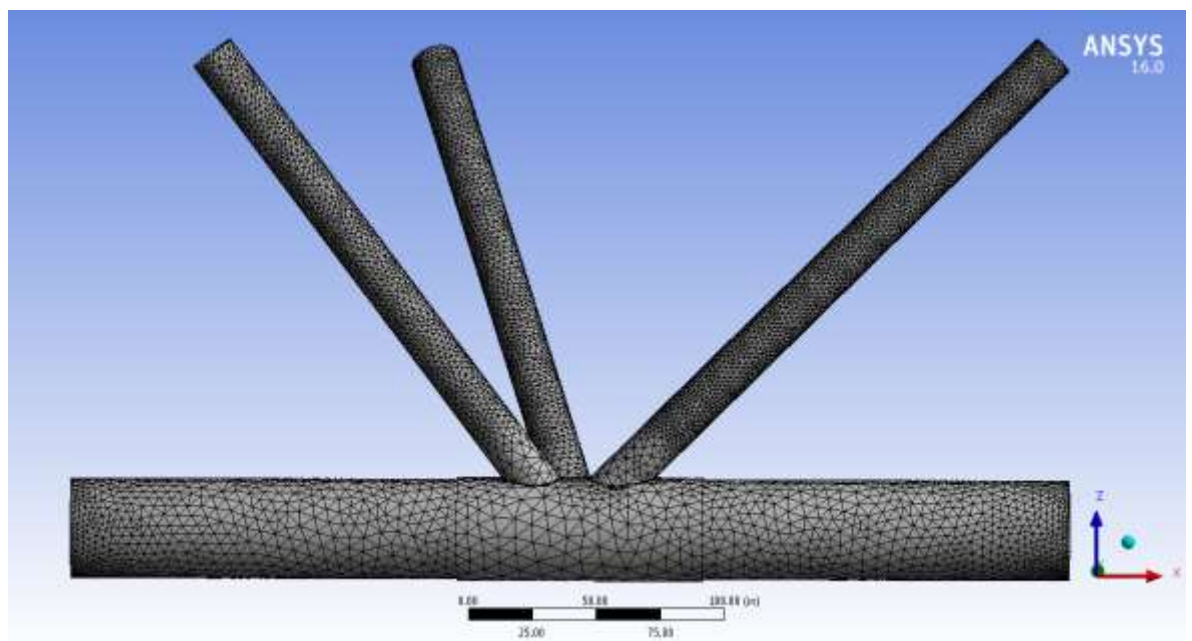
# **LAMPIRAN C.2**

**MODEL B**

## GEOMETRI DAN *MESH*

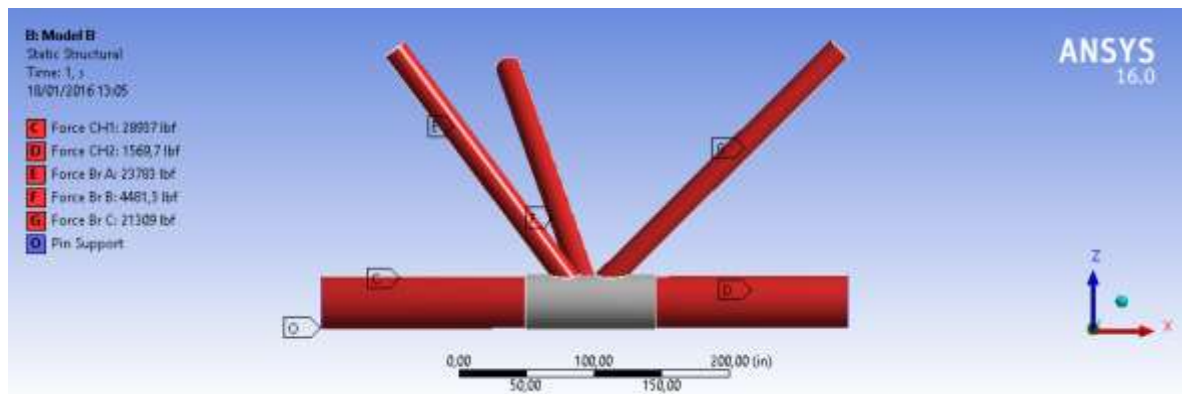


**Gambar C2.1** Model B - Geometri *Multiplanar Tubular Joint*

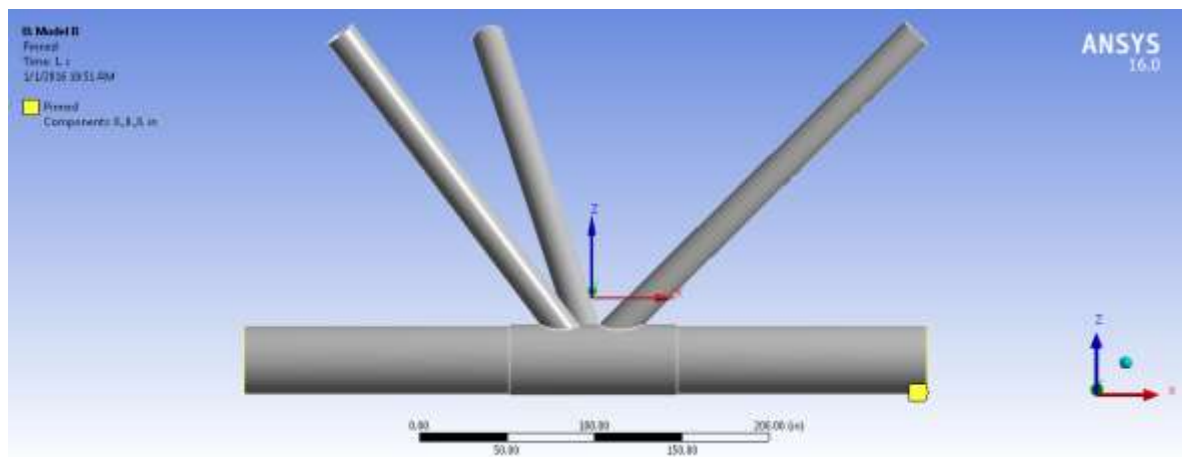


**Gambar C2.2** Model B – *Mesh* pada *Multiplanar Tubular Joint*

## PEMBEBANAN DAN KONDISI BATAS

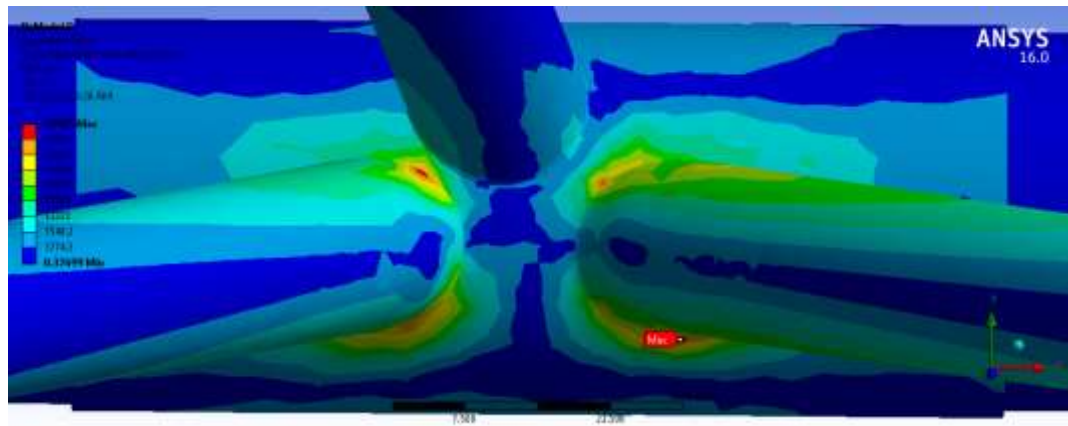


**Gambar C2.3** Model B – Pembebanan pada *Multiplanar Tubular Joint*

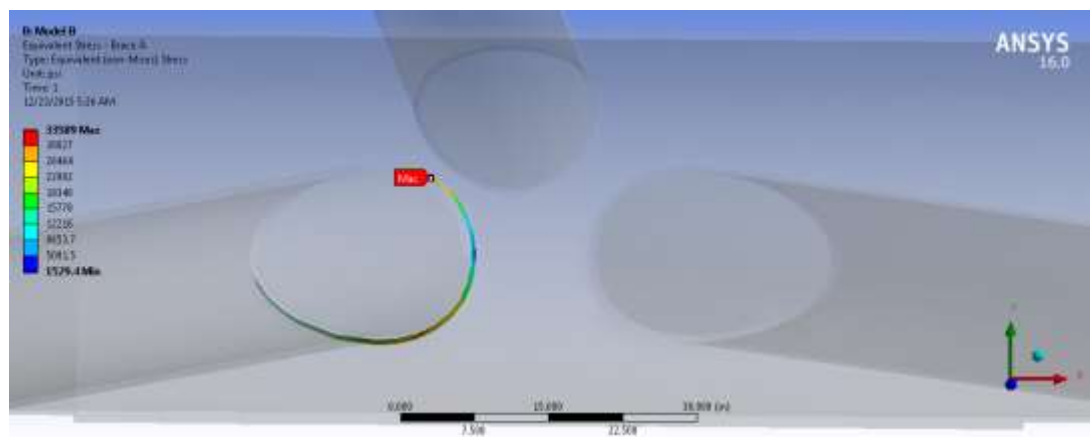


**Gambar C2.4** Model B – Kondisi Batas pada *Multiplanar Tubular Joint*

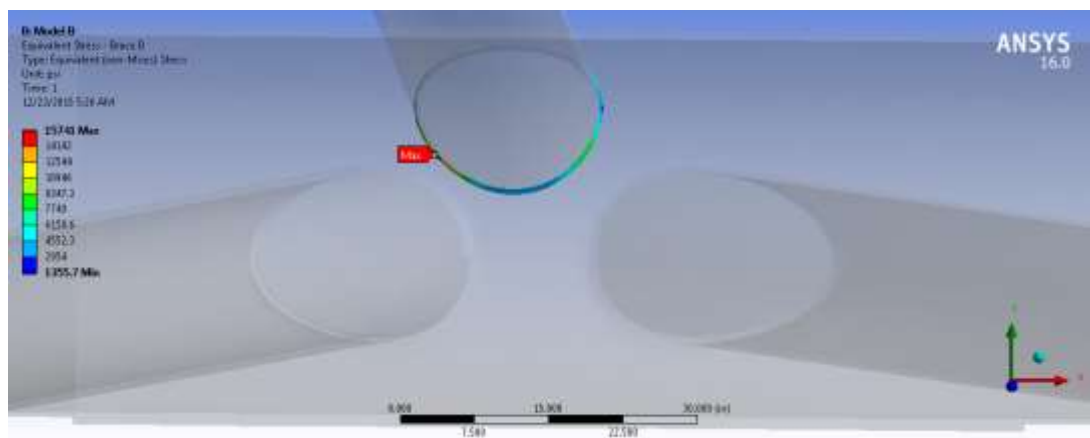
## ***EQUIVALENT STRESS (von Mises)***



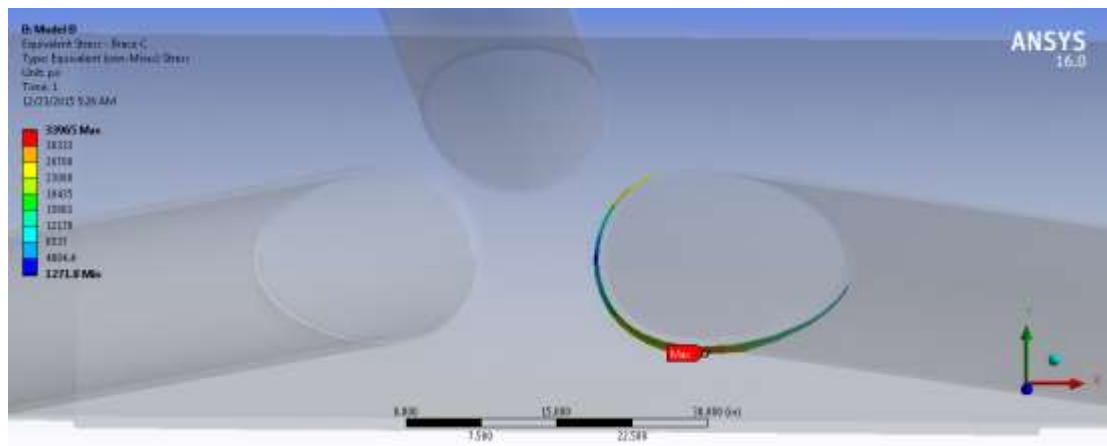
**Gambar C2.5** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model B



**Gambar C2.6** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model B – Brace A

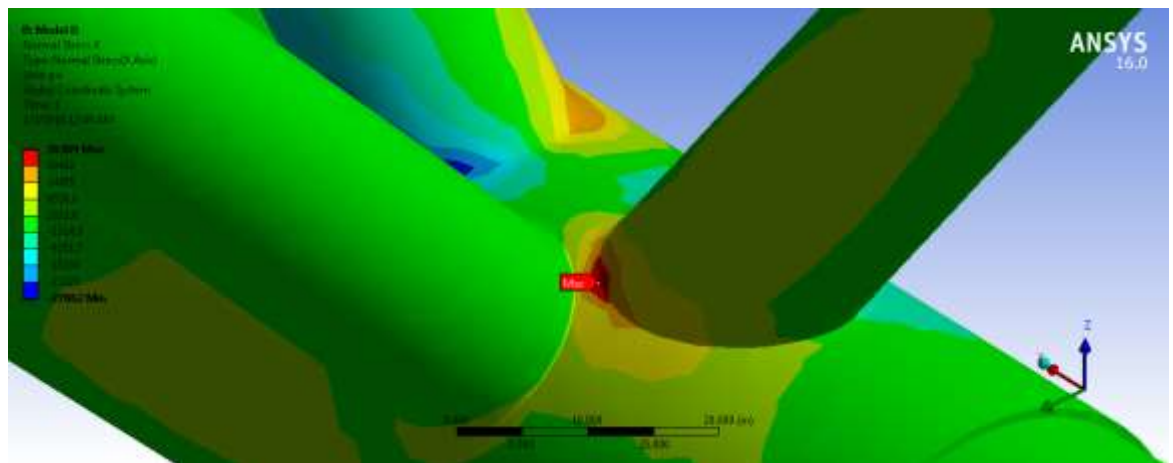


**Gambar C2.7** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model B – Brace B

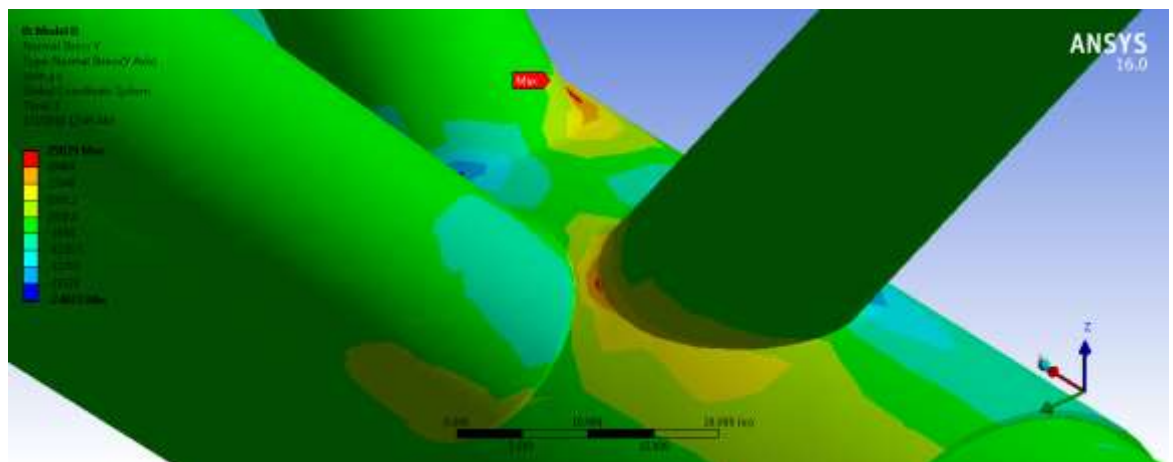


**Gambar C2.8** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model B – Brace C

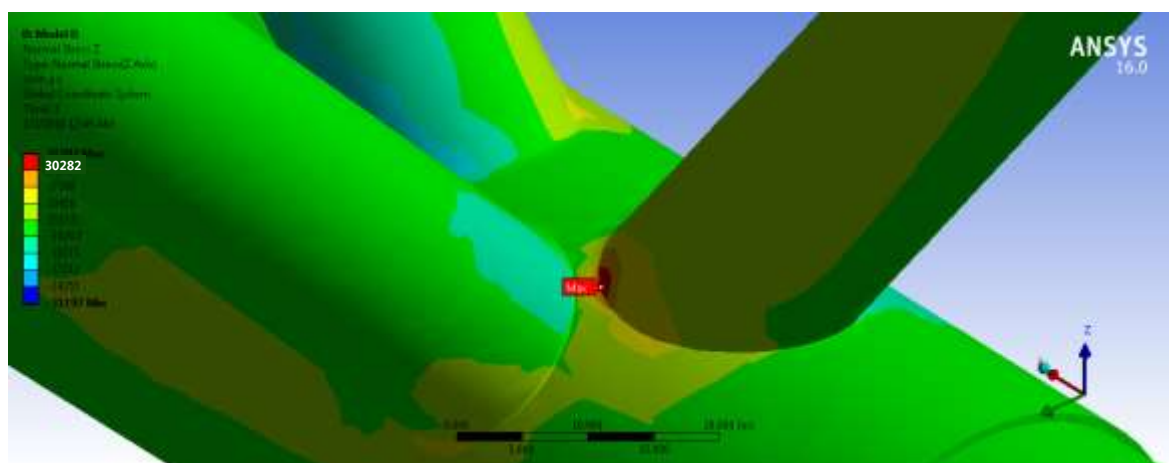
## ***NORMAL STRESS***



**Gambar C2.9** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model B – X Axis



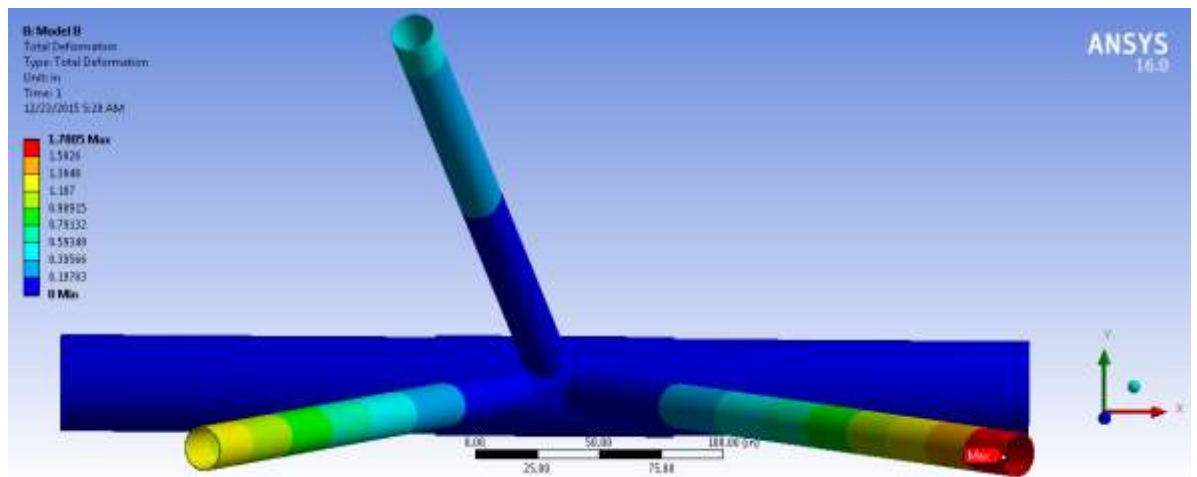
**Gambar C2.10** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model B – X Axis



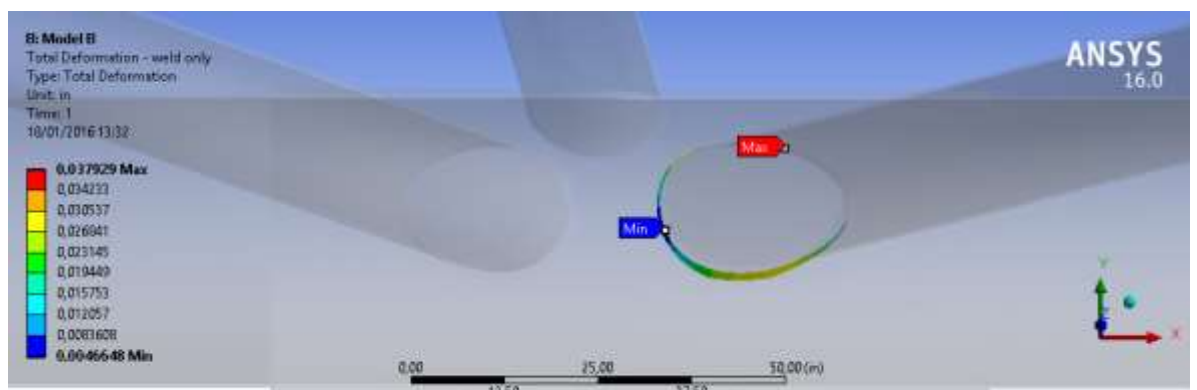
**Gambar C2.11** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model B – X Axis



## TOTAL DEFORMATION



Gambar C2.12 Total Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model B



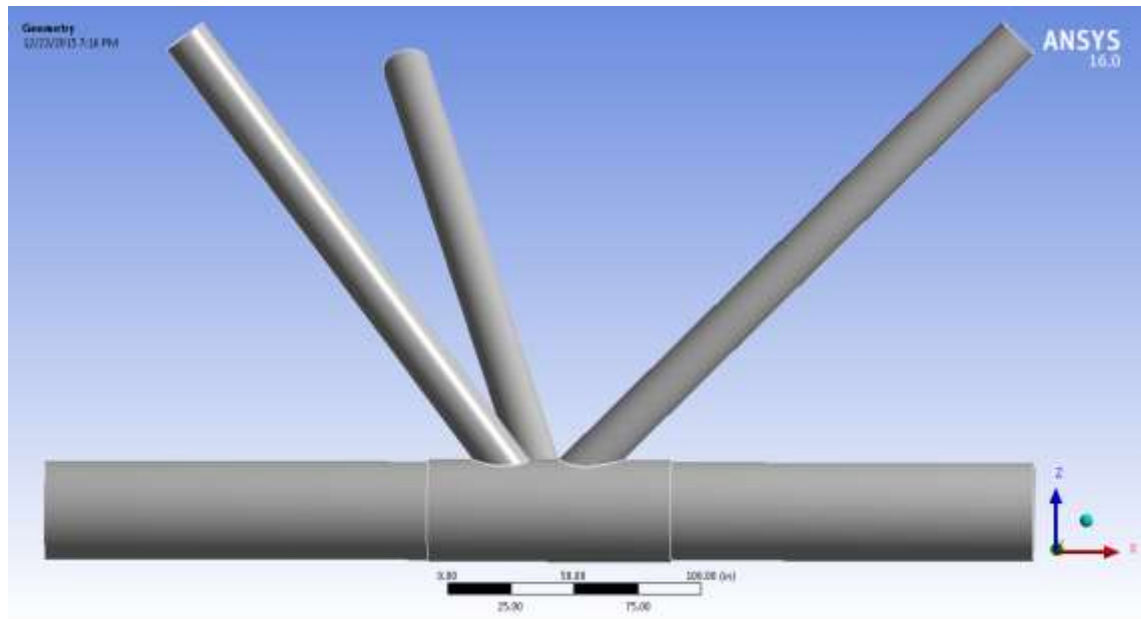
Gambar C2.13 Local Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model B



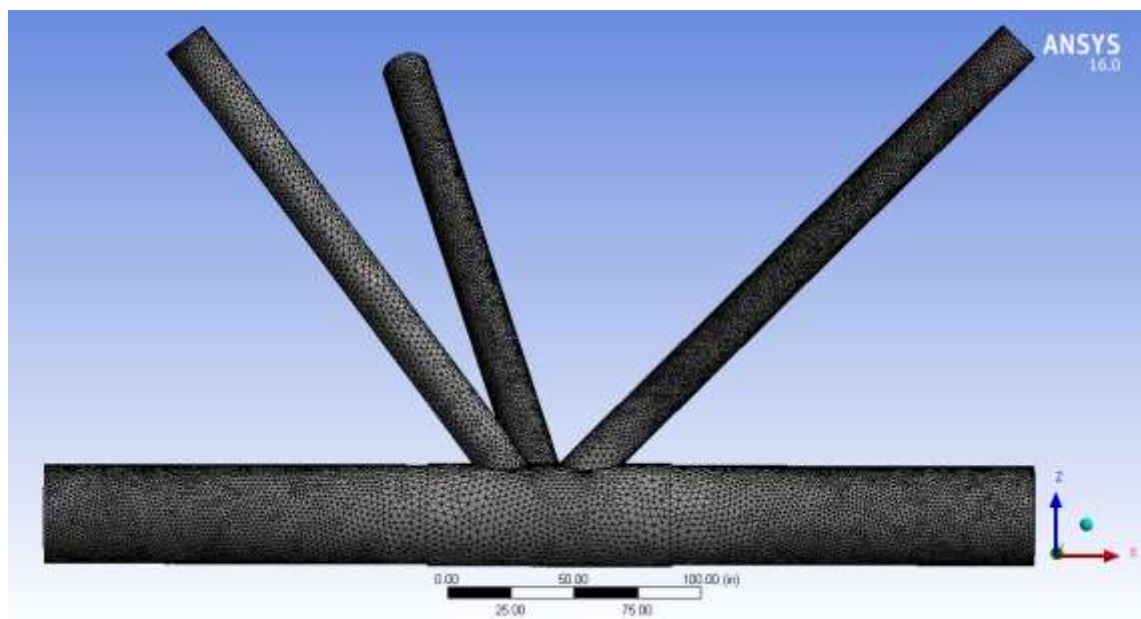
# **LAMPIRAN C.3**

MODEL C

## GEOMETRI DAN *MESH*

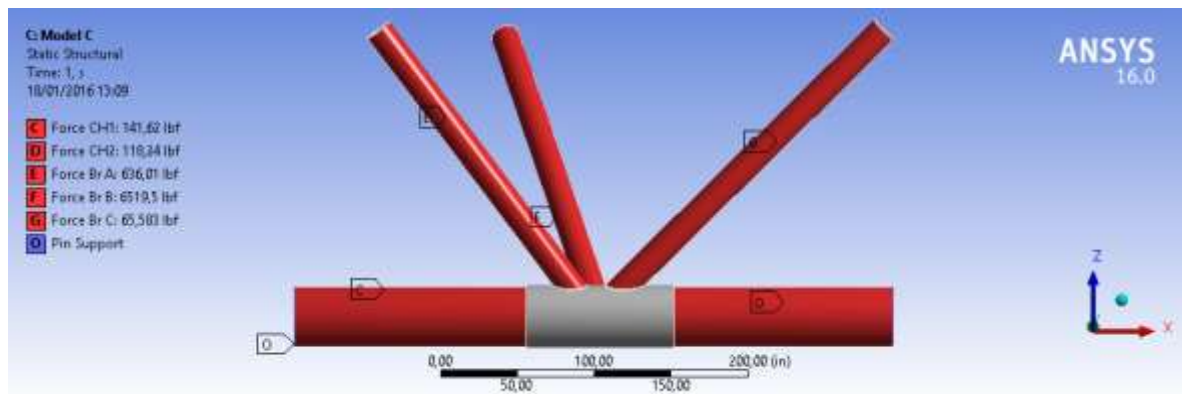


**Gambar C3.1** Model C - Geometri *Multiplanar Tubular Joint*

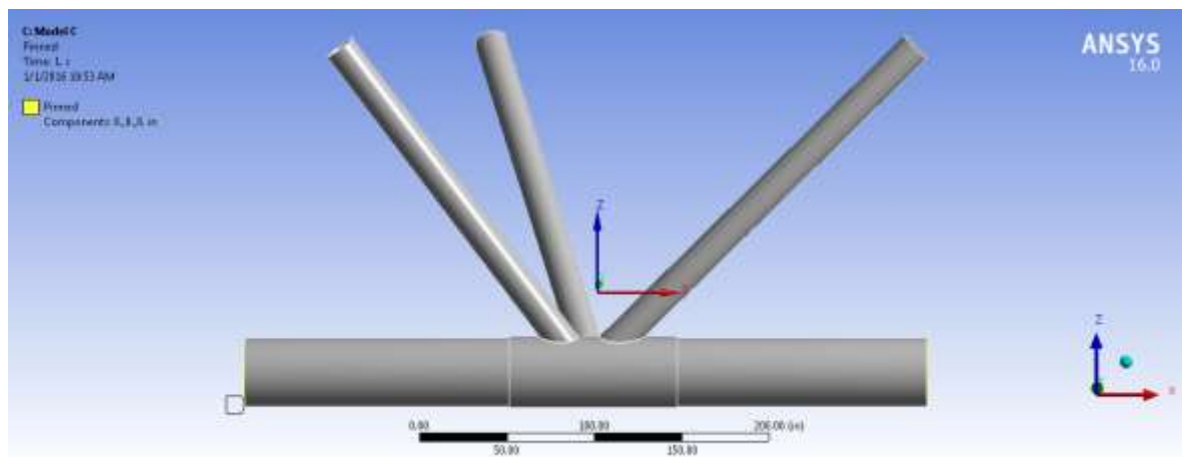


**Gambar C3.2** Model C – *Mesh* pada *Multiplanar Tubular Joint*

## PEMBEBANAN DAN KONDISI BATAS

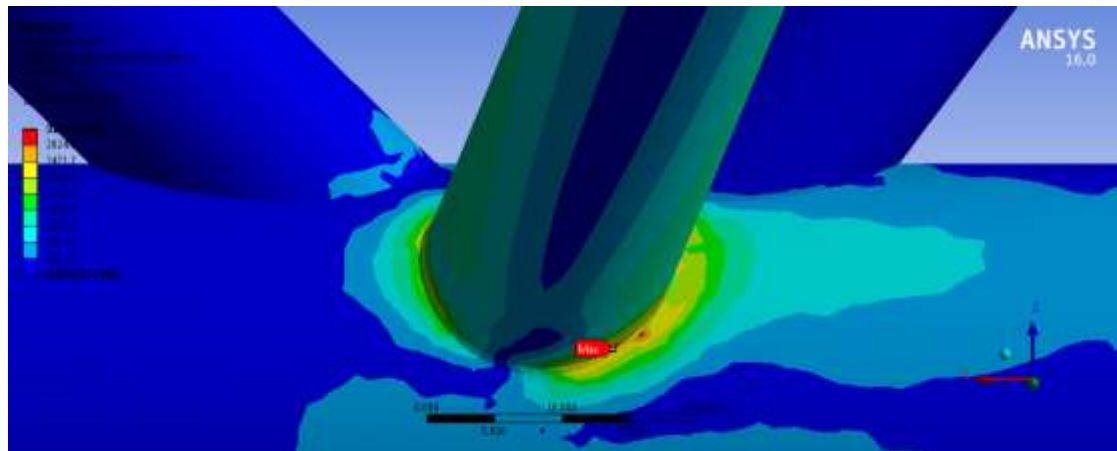


**Gambar C3.3** Model C – Pembebanan pada *Multiplanar Tubular Joint*

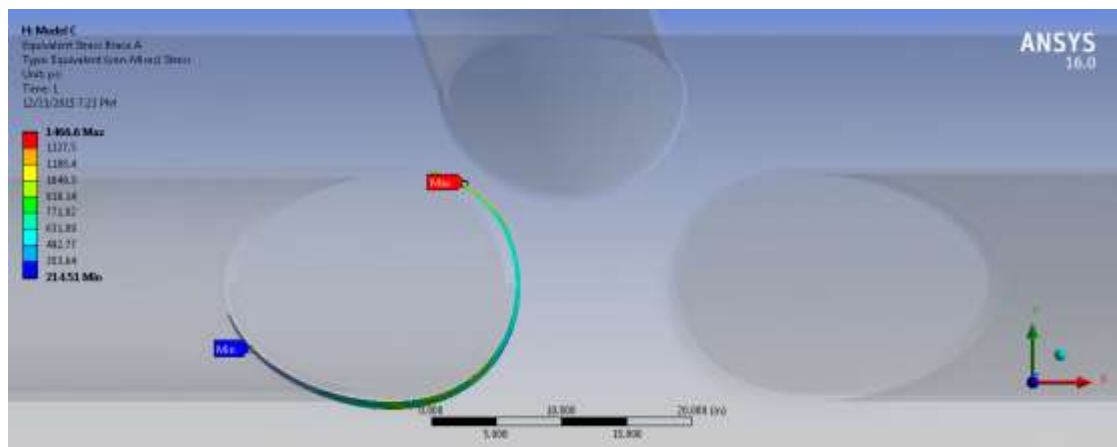


**Gambar C3.4** Model C – Kondisi Batas pada *Multiplanar Tubular Joint*

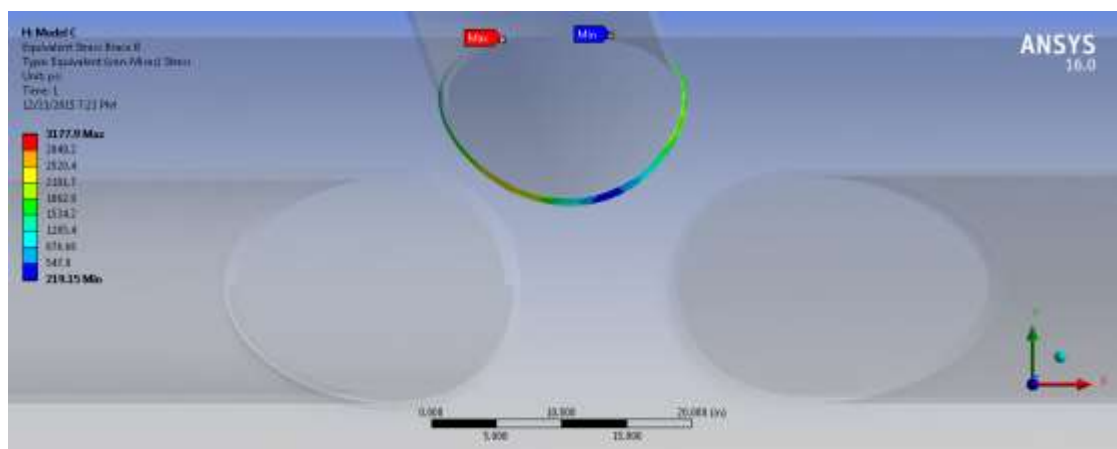
## ***EQUIVALENT STRESS (von Mises)***



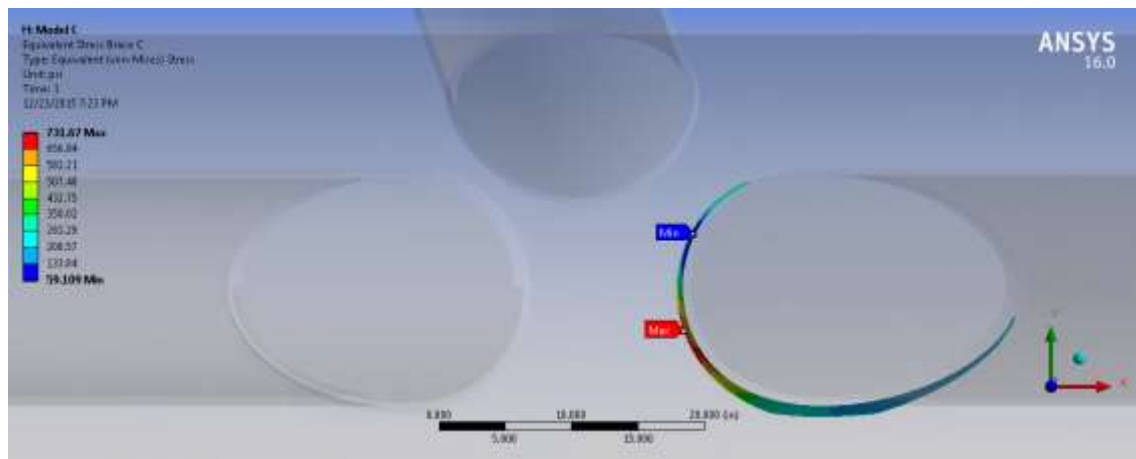
**Gambar C3.5** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model C



**Gambar C3.6** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model C – Brace A

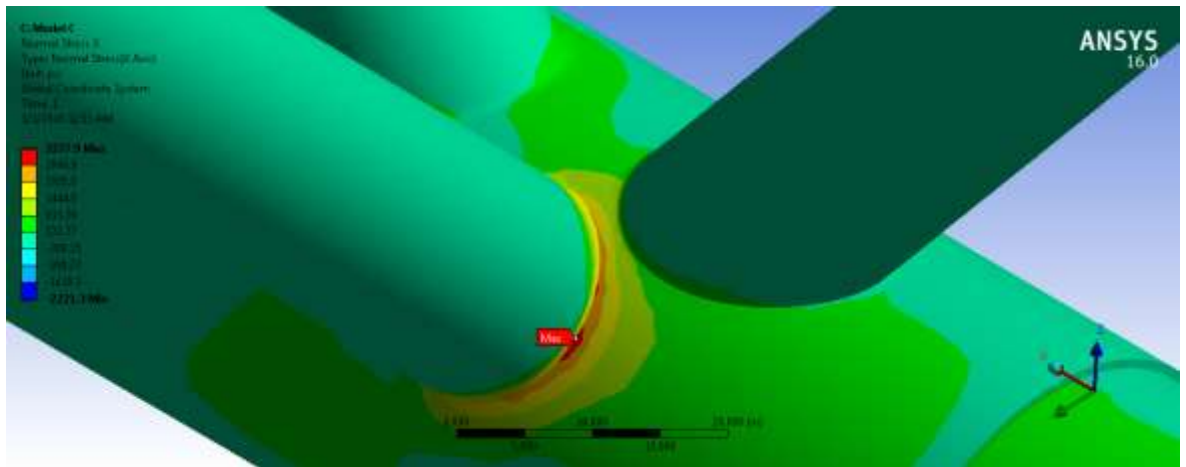


**Gambar C3.7** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model C – Brace B

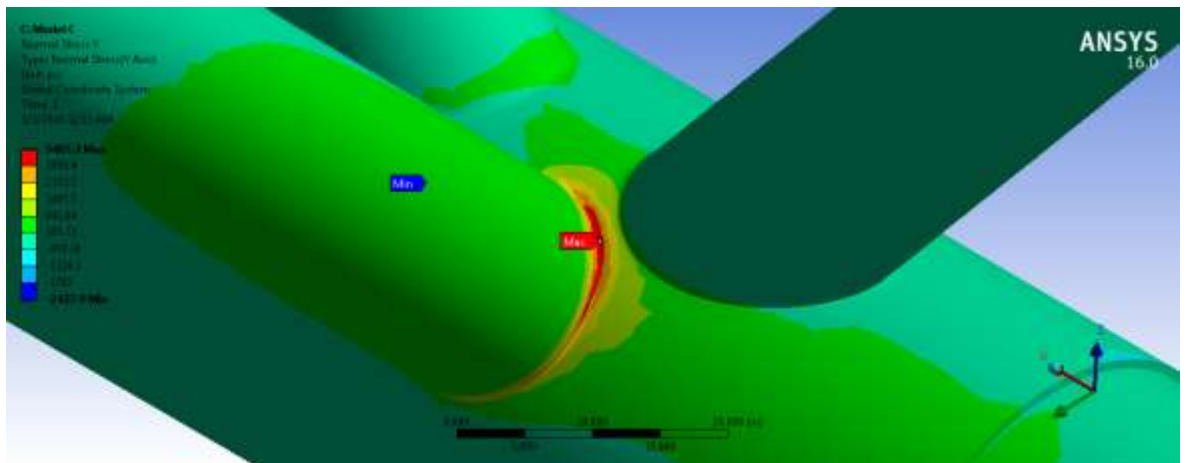


**Gambar C3.8** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* - Model C – Brace C

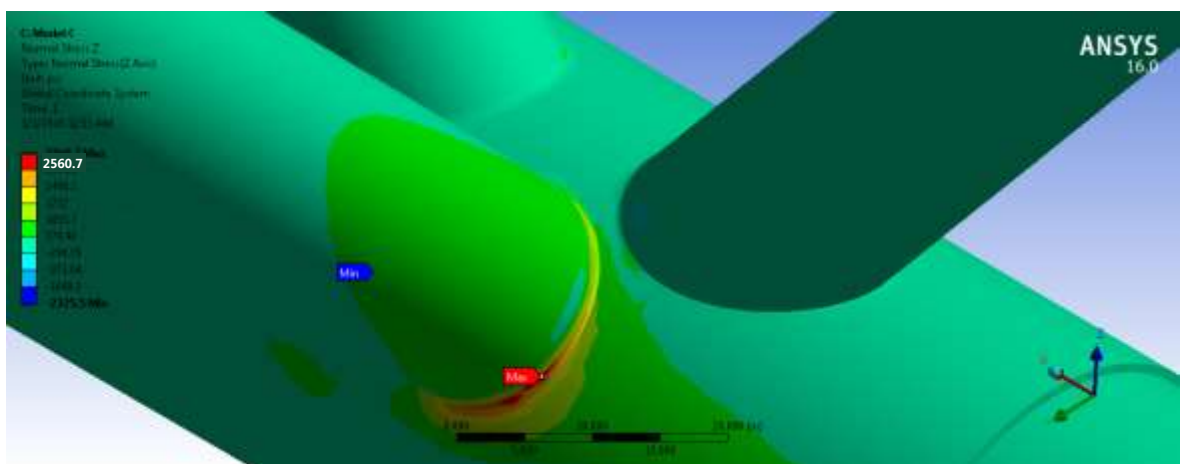
## ***NORMAL STRESS***



**Gambar C3.9** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model C – X Axis

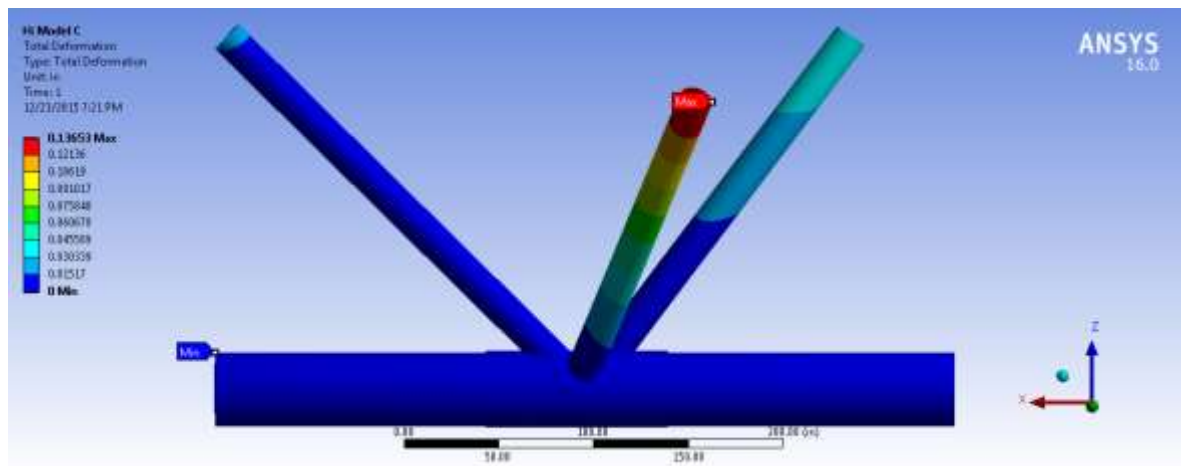


**Gambar C3.10** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model C – X Axis

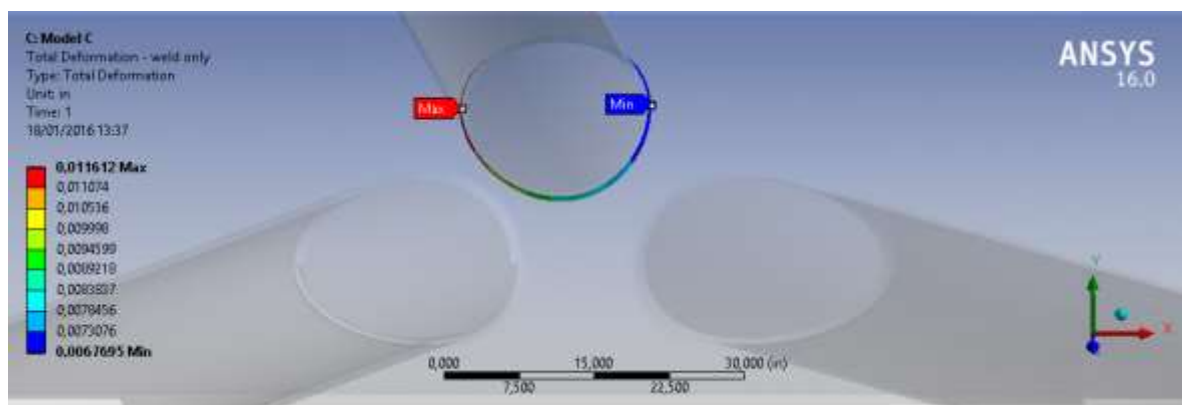


**Gambar C3.11** Distribusi *Normal Stress* pada *Multiplanar Tubular Joint* – Model C – X Axis

## TOTAL DEFORMATION



**Gambar C3.12** *Total Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model C*



**Gambar C3.13** *Local Deformation pada Multiplanar Tubular Joint - Model C*

**LAMPIRAN D**

**HASIL PEMODELAN *CRACK***

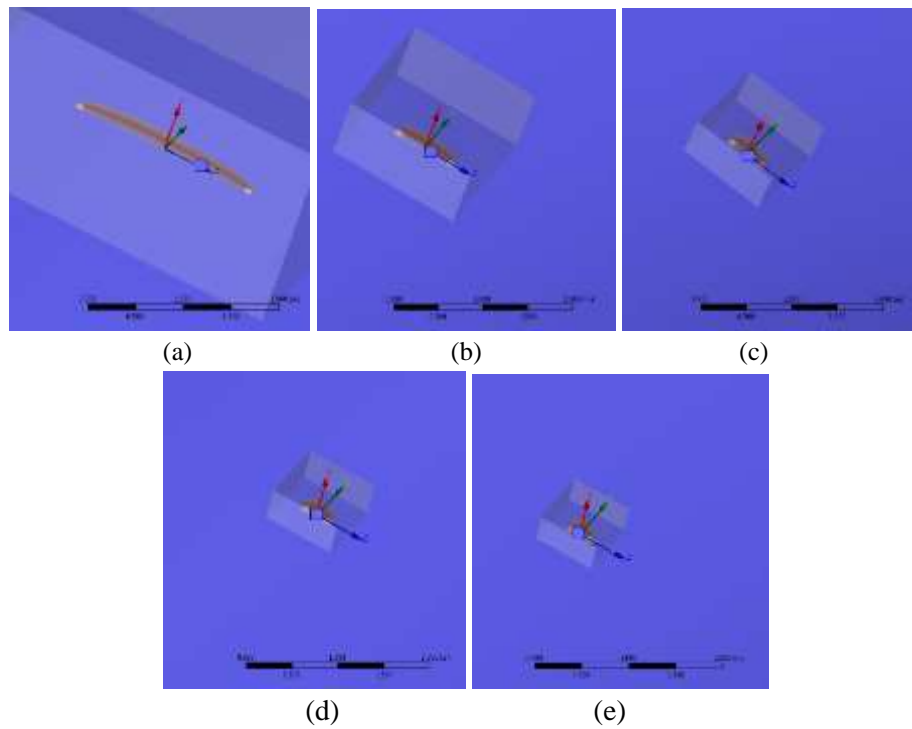
**VARIASI *c***



# **LAMPIRAN D.1**

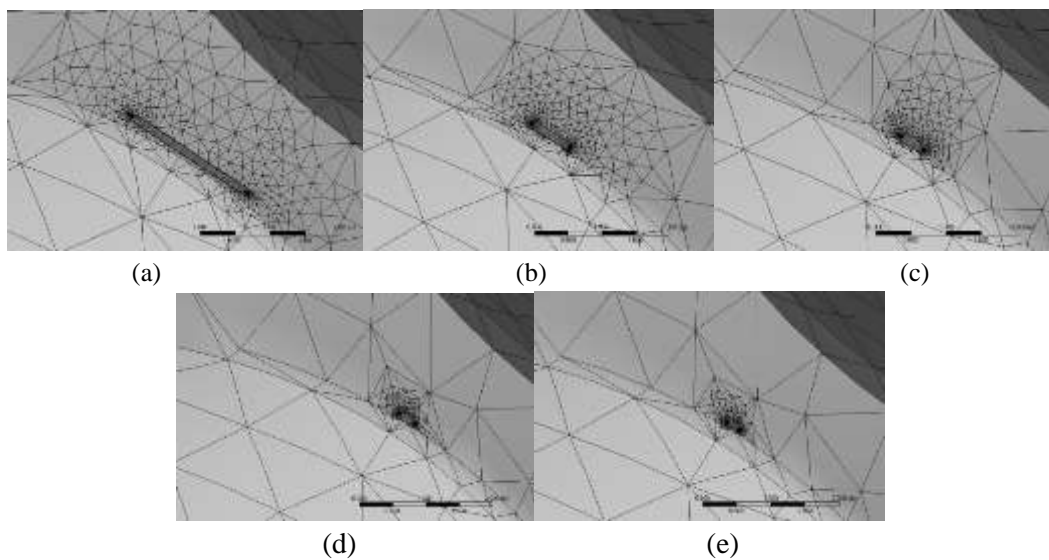
MODEL A

## Geometri Retak



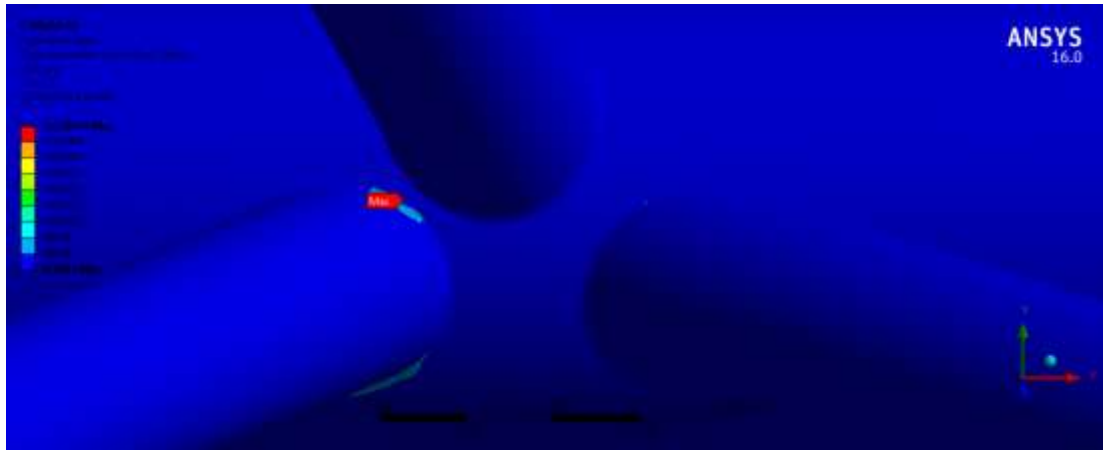
**Gambar D1.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

## Crack Meshing

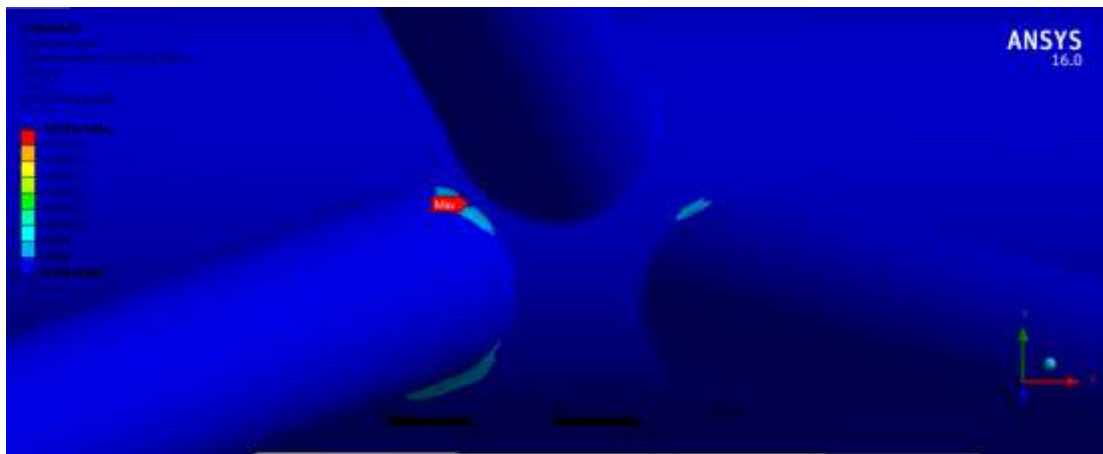


**Gambar D1.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

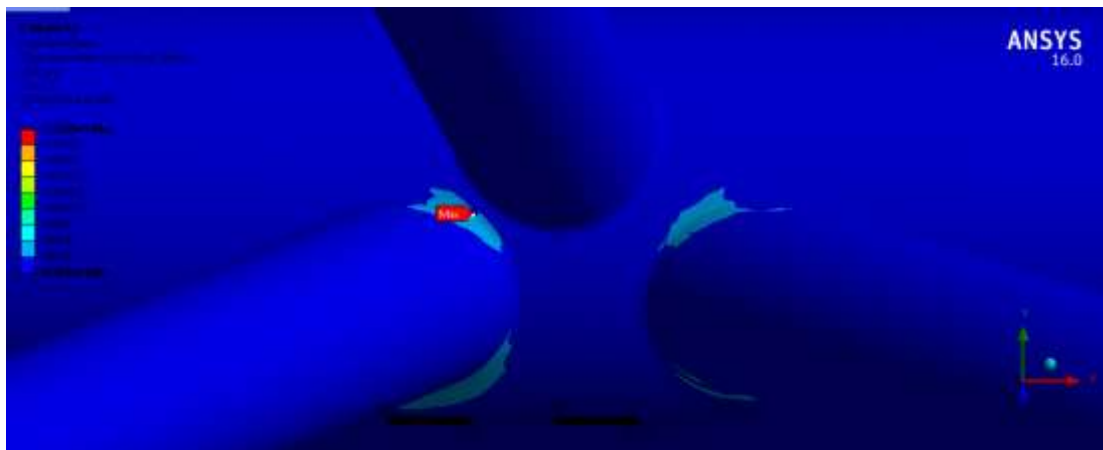
*Maximum von-Mises Stress*



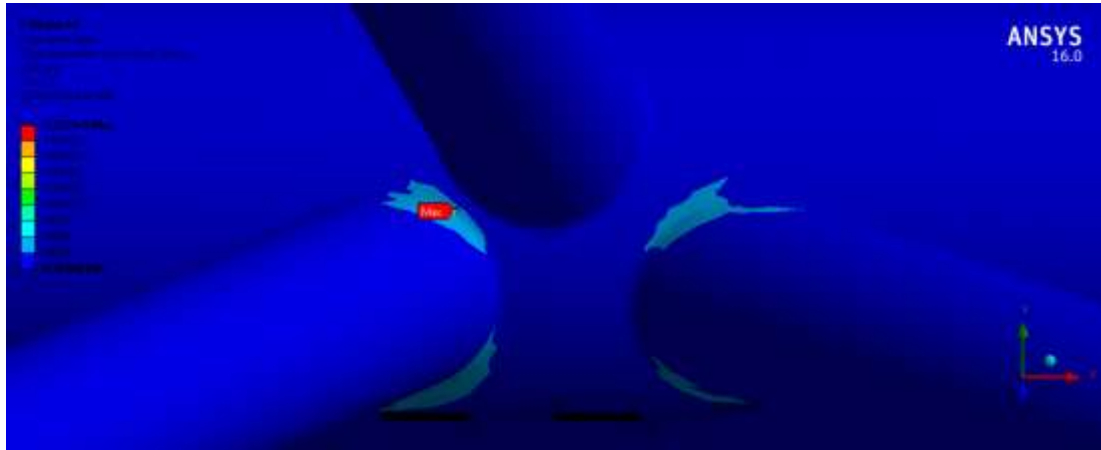
(a)



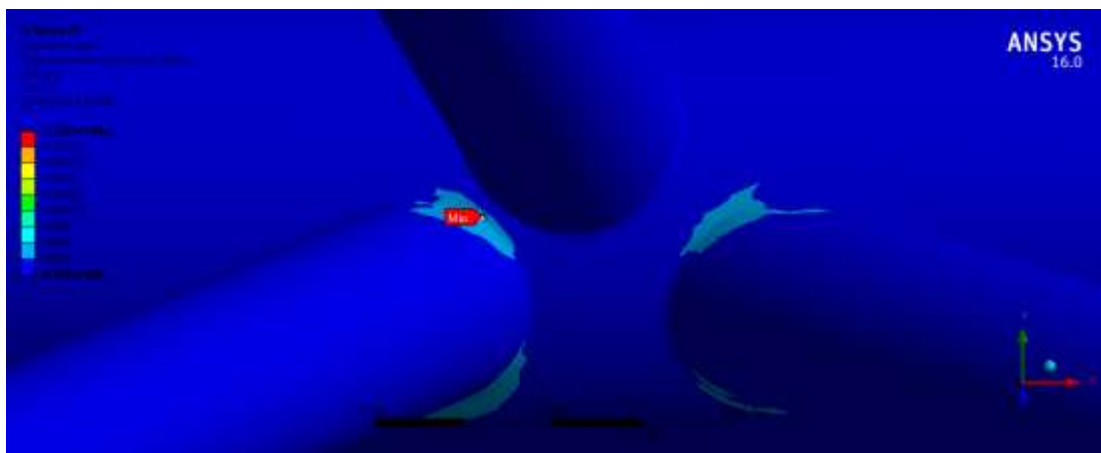
(b)



(c)



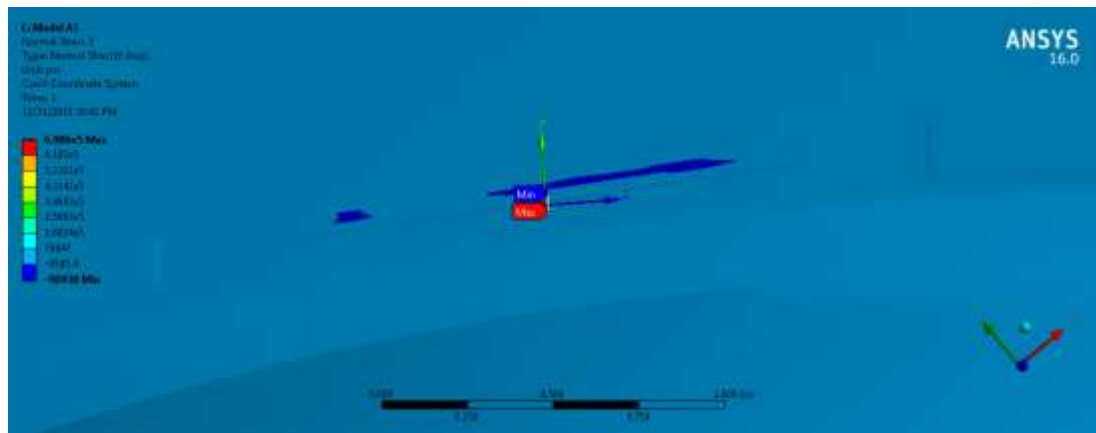
(d)



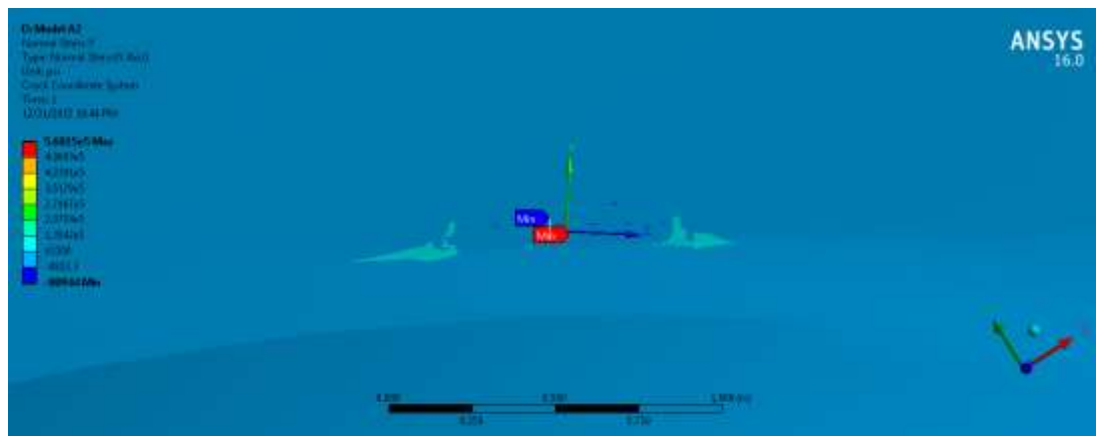
(e)

**Gambar D1.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

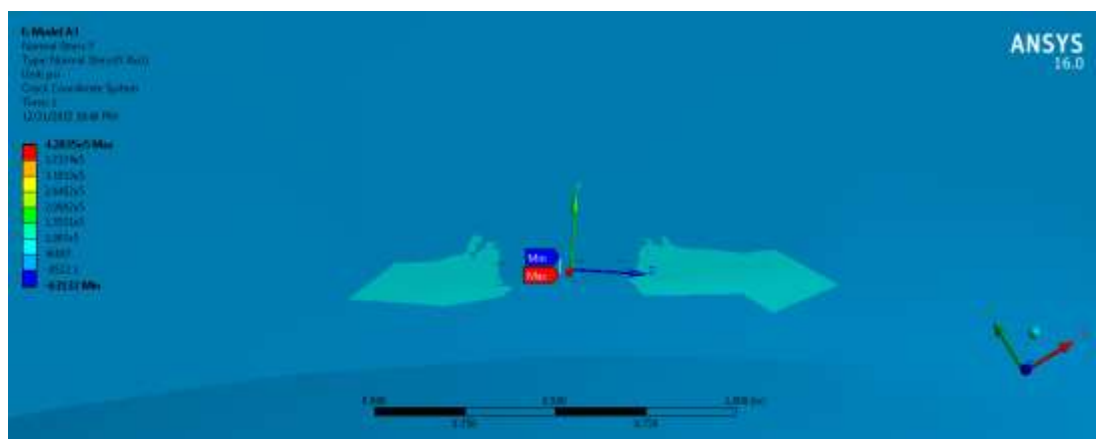
## Maximum Normal Stress



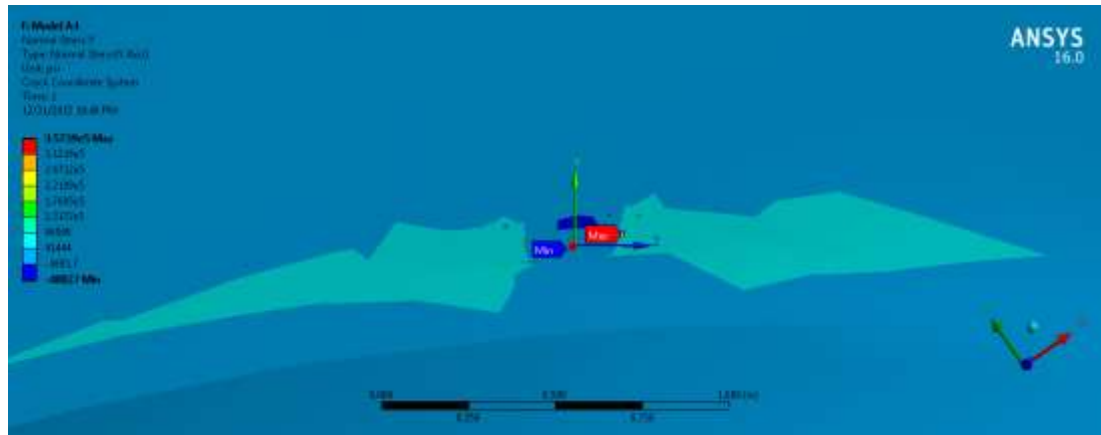
(a)



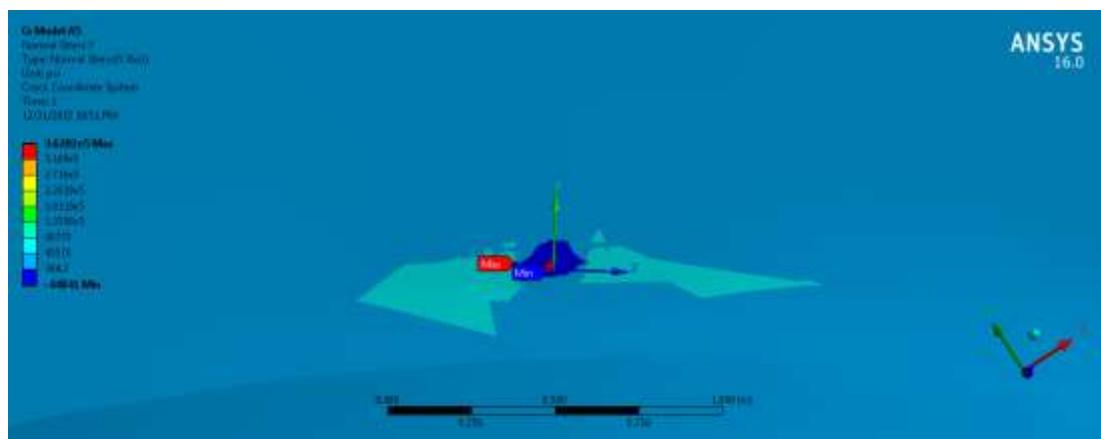
(b)



(c)



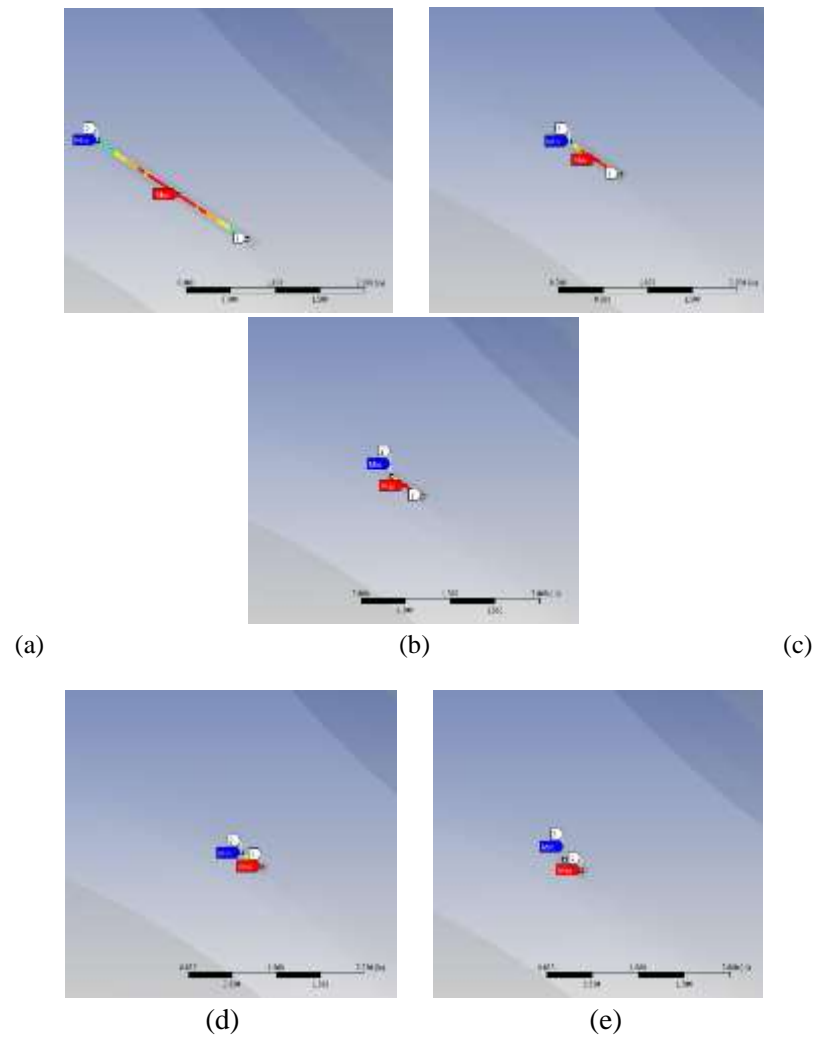
(d)



(e)

**Gambar D1.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

***Stress Intensity Factor (SIF)***

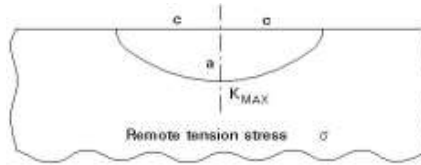


**Gambar D1.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

# **LAMPIRAN D.1.1**

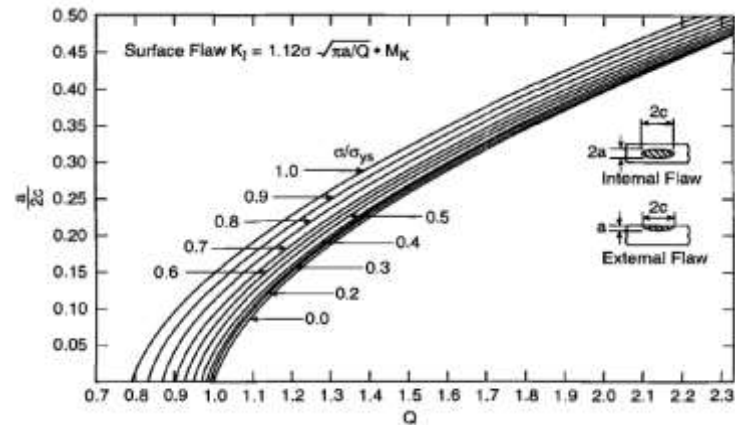
## **TABEL PERHITUNGAN SIF**





**Gambar D1.6** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

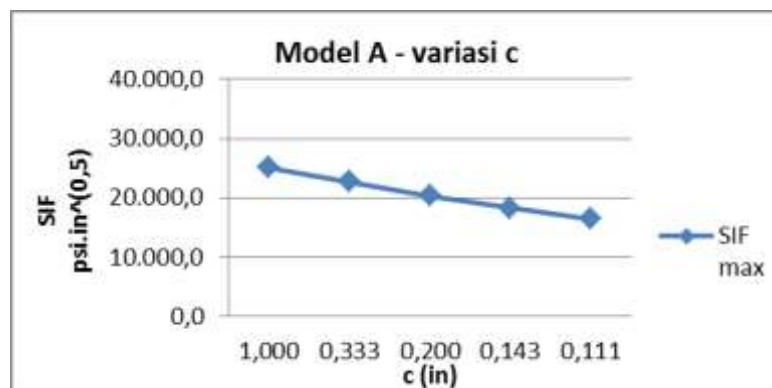
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar D1.7** *Flaw Shape Parameter Q*

Nominal stress Model A ( $\sigma$ ) = 34,179 psi

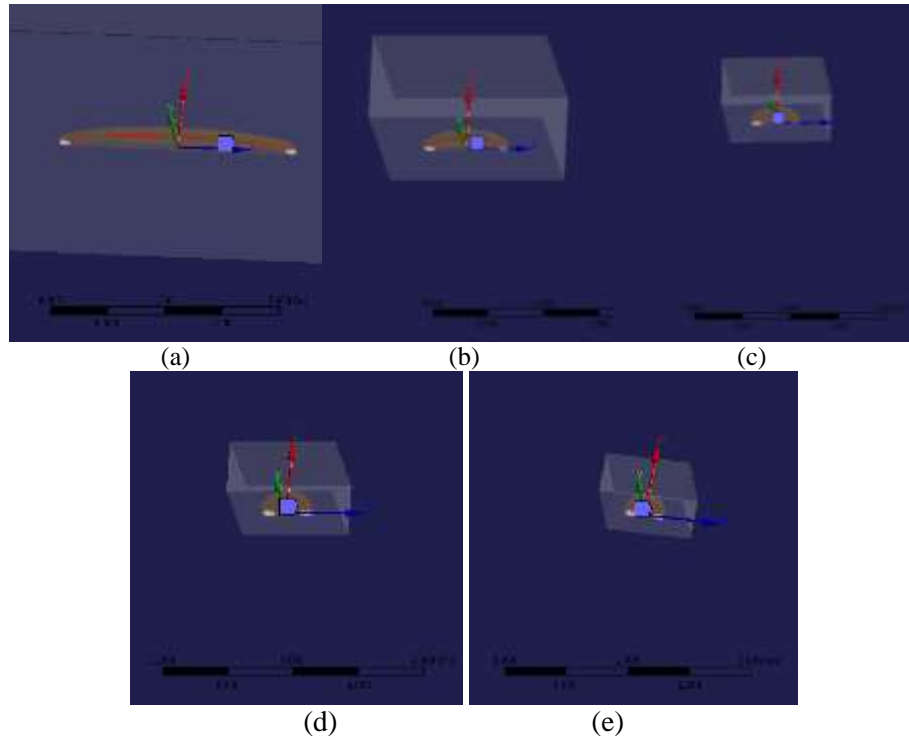
| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Max Normal<br>Stress<br>(psi) | SIFmax<br>psi.in <sup>^(0,5)</sup> | σ/σys | Q    | √ (π a/Q) | SIFmax   | %<br>error |
|-------|------|-----------|-----------|-------------------------------|------------------------------------|-------|------|-----------|----------|------------|
| A1    | 0.05 | 0.100     | 1.000     | 698,600                       | 25,077                             | 0.68  | 0.90 | 0.59      | 22,611.1 | 9.83       |
| A2    | 0.15 | 0.100     | 0.333     | 568,150                       | 22,749                             | 0.68  | 1.09 | 0.54      | 20,546.1 | 9.68       |
| A3    | 0.25 | 0.100     | 0.200     | 428,350                       | 20,313                             | 0.68  | 1.37 | 0.48      | 18,326.6 | 9.78       |
| A4    | 0.35 | 0.100     | 0.143     | 357,390                       | 17,282                             | 0.68  | 1.86 | 0.41      | 15,728.4 | 8.99       |
| A5    | 0.45 | 0.100     | 0.111     | 362,010                       | 15,458                             | 0.68  | 2.23 | 0.38      | 14,364.5 | 7.07       |



# **LAMPIRAN D.2**

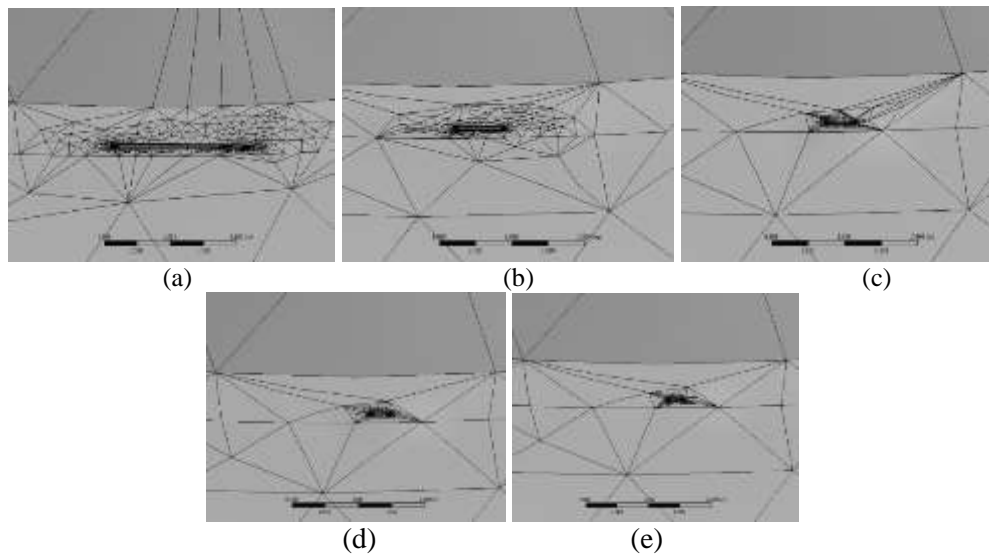
**MODEL B**

## Geometri Retak



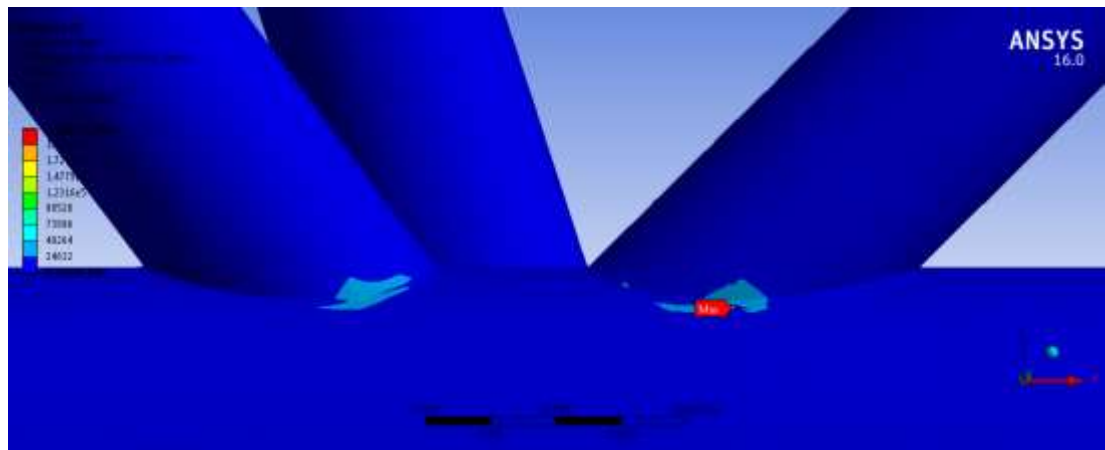
**Gambar D2.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

## *Crack Meshing*

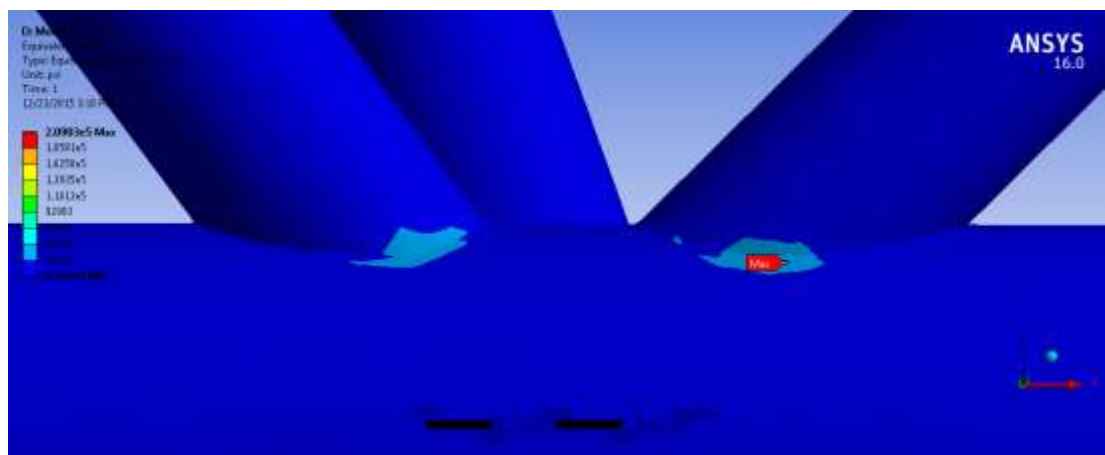


**Gambar D2.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

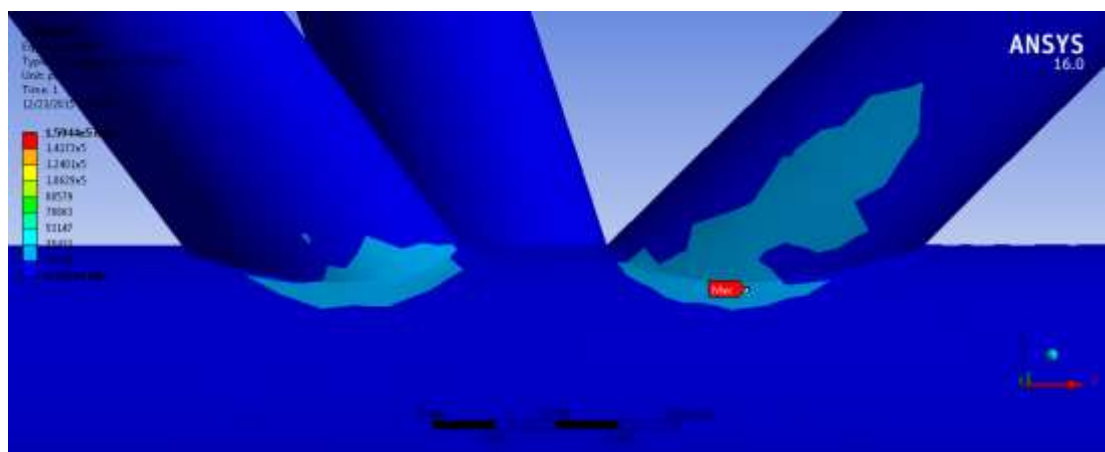
*Maximum von-Mises Stress*



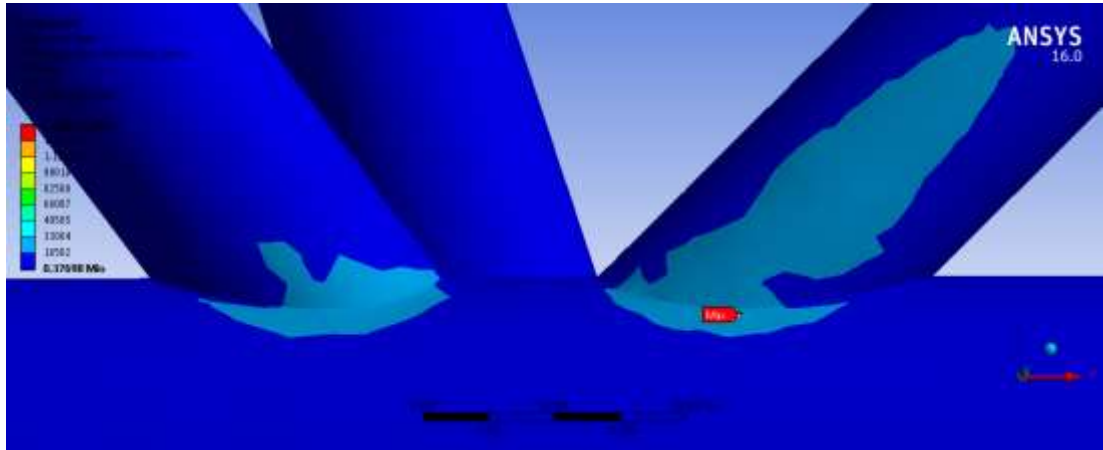
(a)



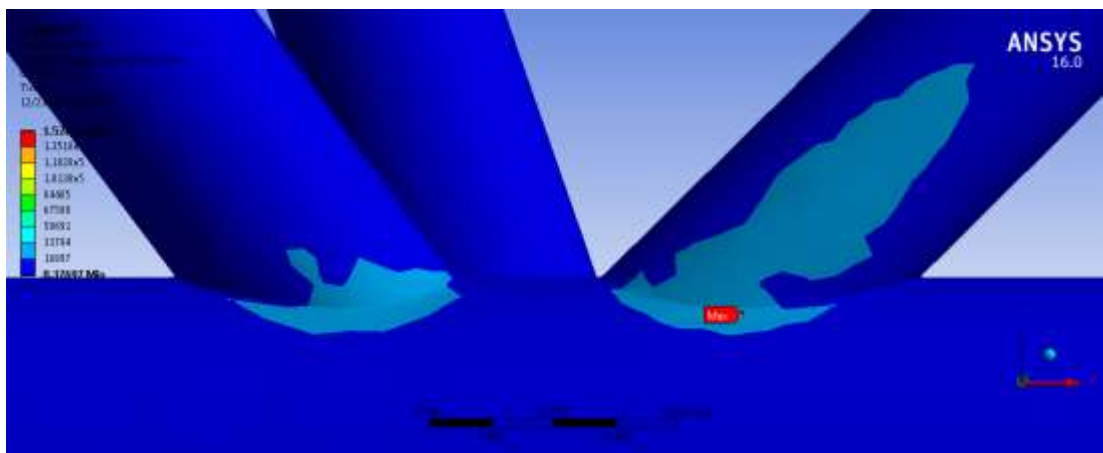
(b)



(c)



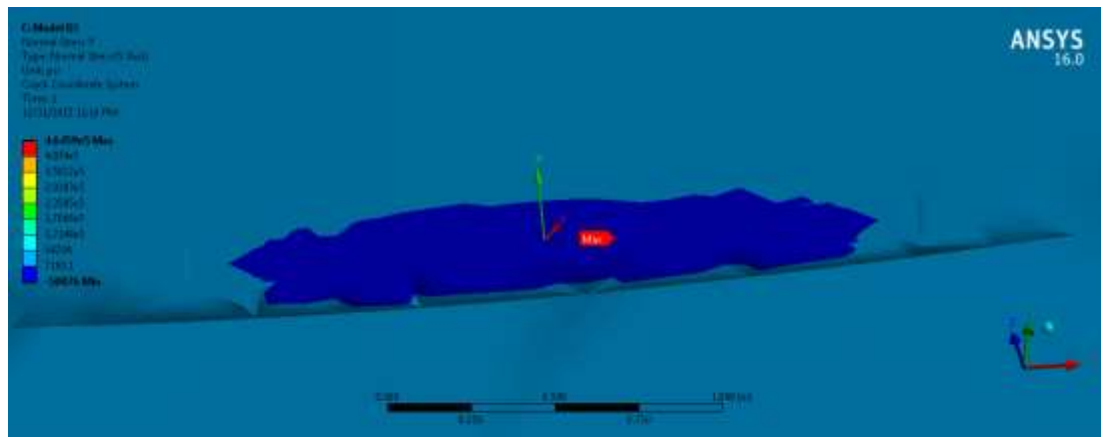
(d)



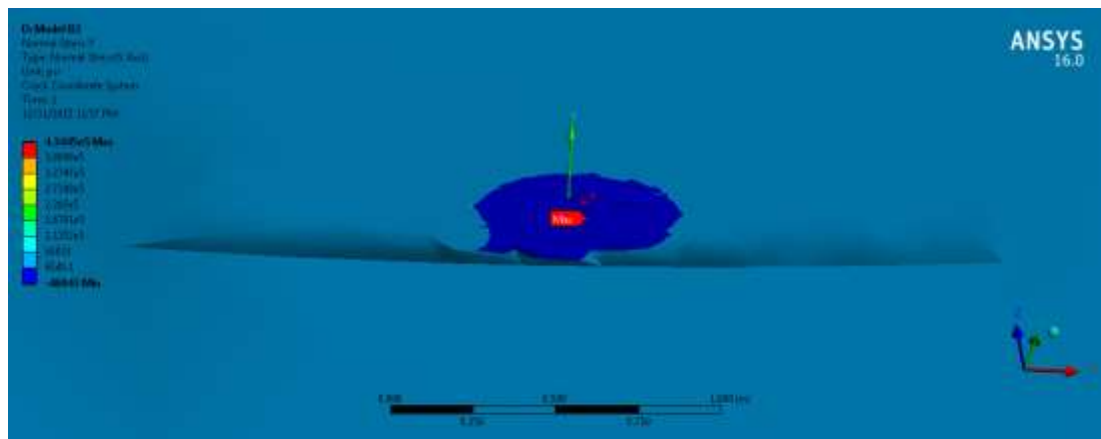
(e)

**Gambar D2.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

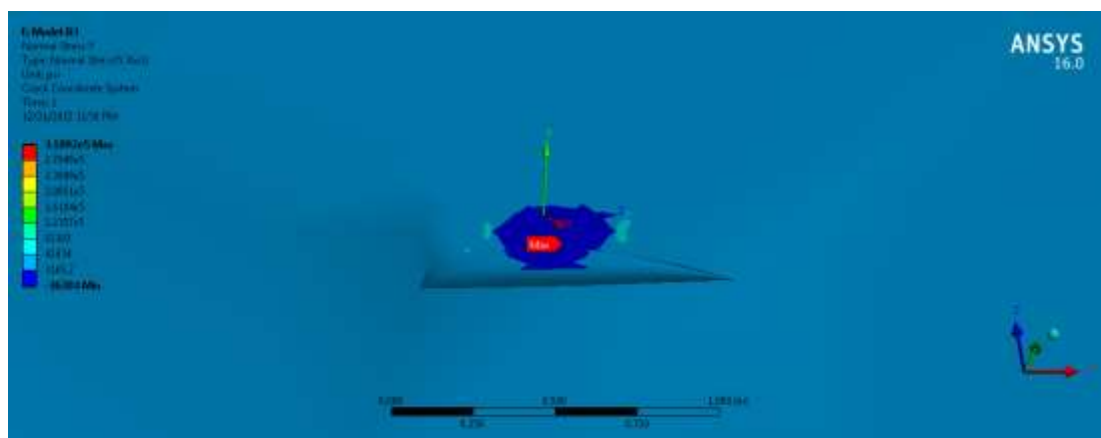
## Maximum Normal Stress



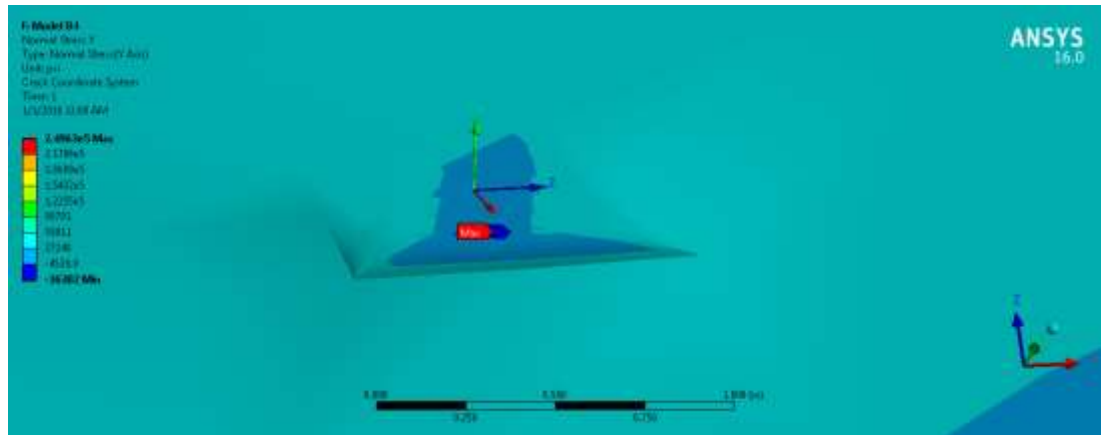
(a)



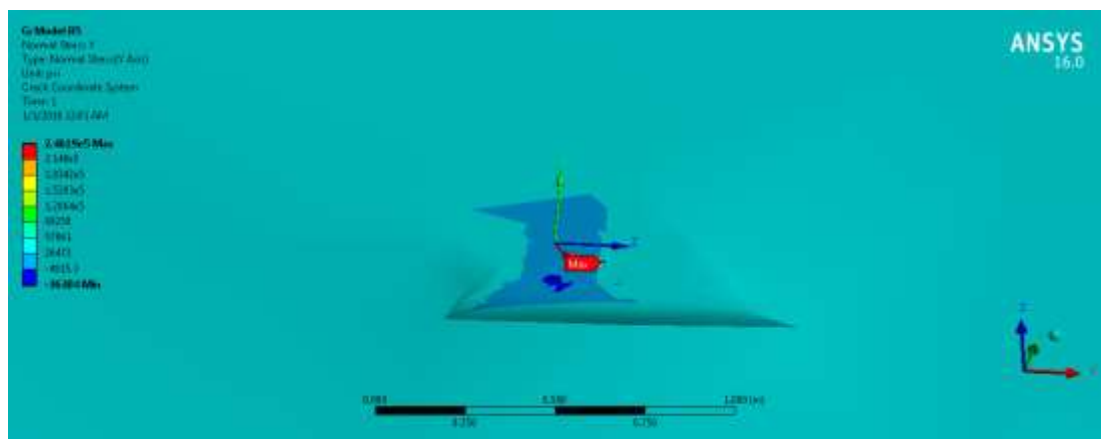
(b)



(c)



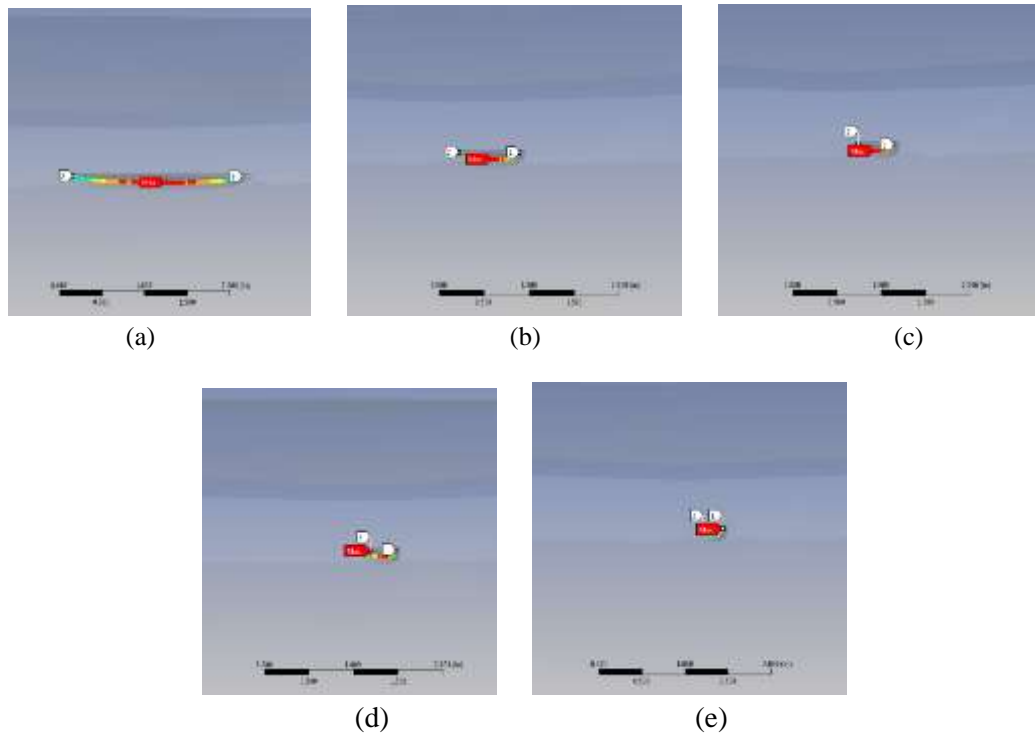
(d)



(e)

**Gambar D2.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

***Stress Intensity Factor (SIF)***

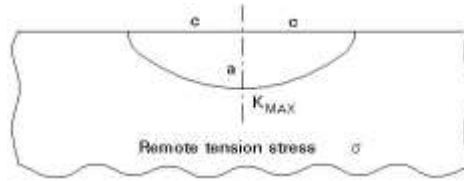


**Gambar D2.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5



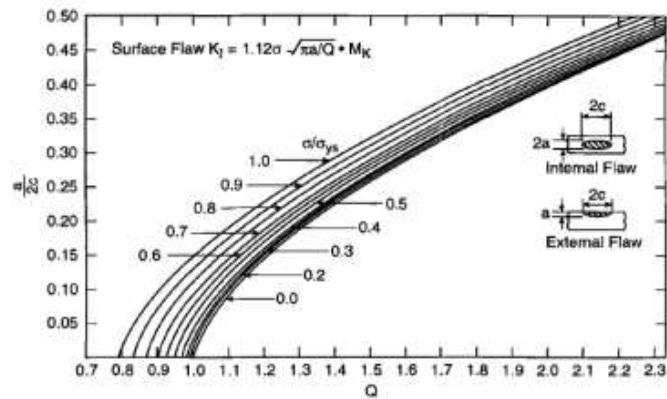
# **LAMPIRAN D.2.1**

## **TABEL PERHITUNGAN SIF**



**Gambar D2.6** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

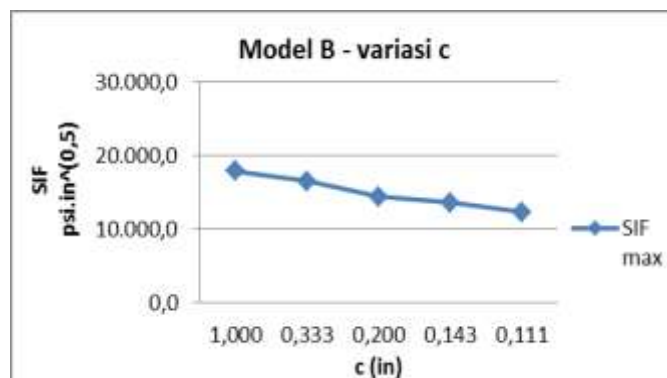
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar D2.7** *Flaw Shape Parameter Q*

Nominal stress Model B ( $\sigma$ ) = 30,282 psi

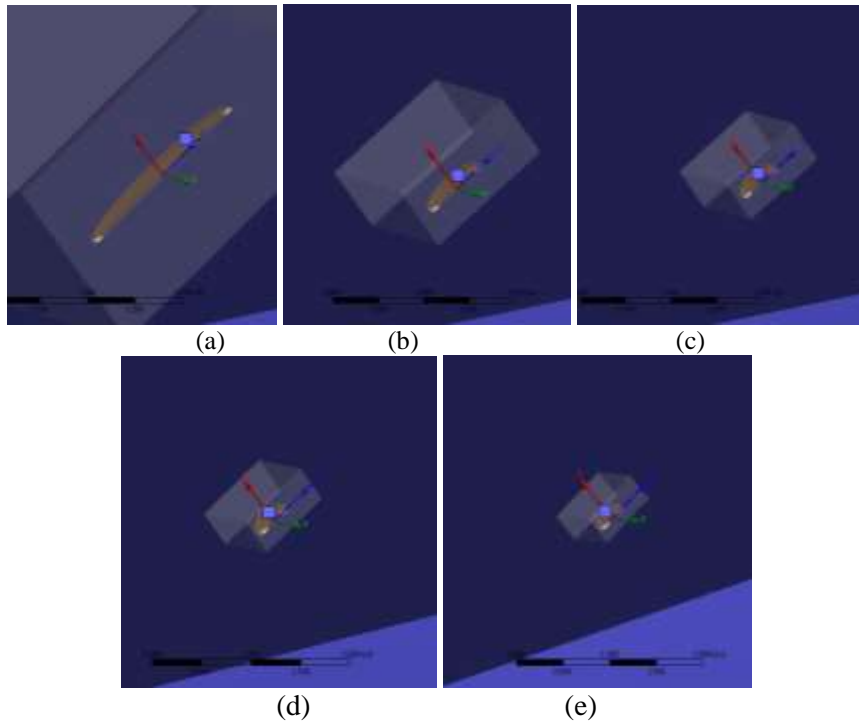
| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Max Normal<br>Stress<br>(psi) | SIFmax<br>psi.in <sup>^(0,5)</sup> | σ/σ <sub>ys</sub> | Q    | √ (π a/Q) | SIFmax   | %<br>error |
|-------|------|-----------|-----------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------|------|-----------|----------|------------|
| A1    | 0.05 | 0.100     | 1.000     | 464,590                       | 17,910                             | 0.61              | 0.98 | 0.57      | 19,197.9 | 6.71       |
| A2    | 0.15 | 0.100     | 0.333     | 434,450                       | 16,518                             | 0.61              | 1.15 | 0.52      | 17,722.2 | 6.80       |
| A3    | 0.25 | 0.100     | 0.200     | 318,920                       | 14,470                             | 0.61              | 1.42 | 0.47      | 15,948.6 | 9.27       |
| A4    | 0.35 | 0.100     | 0.143     | 249,630                       | 13,654                             | 0.61              | 1.80 | 0.42      | 14,165.5 | 3.61       |
| A5    | 0.45 | 0.100     | 0.111     | 246,190                       | 12,380                             | 0.61              | 2.18 | 0.38      | 12,871.8 | 3.82       |



# **LAMPIRAN D.3**

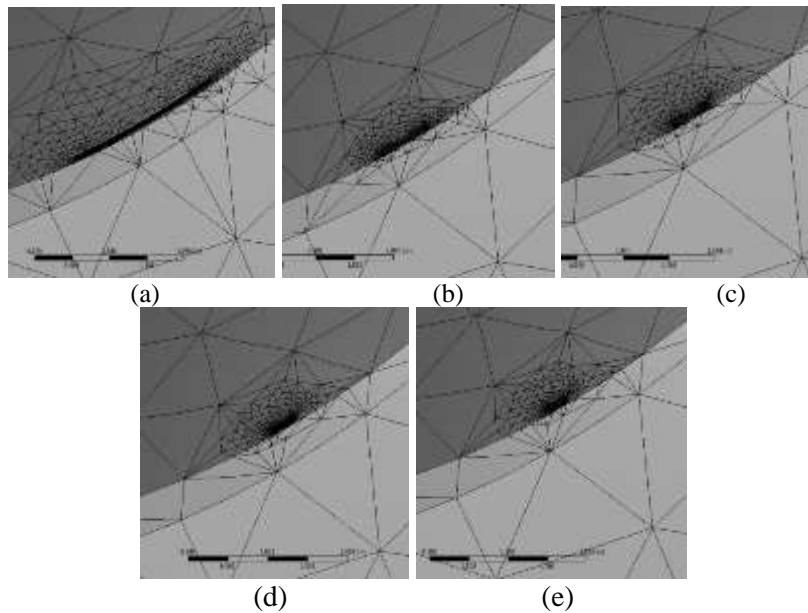
**MODEL C**

### Geometri Retak



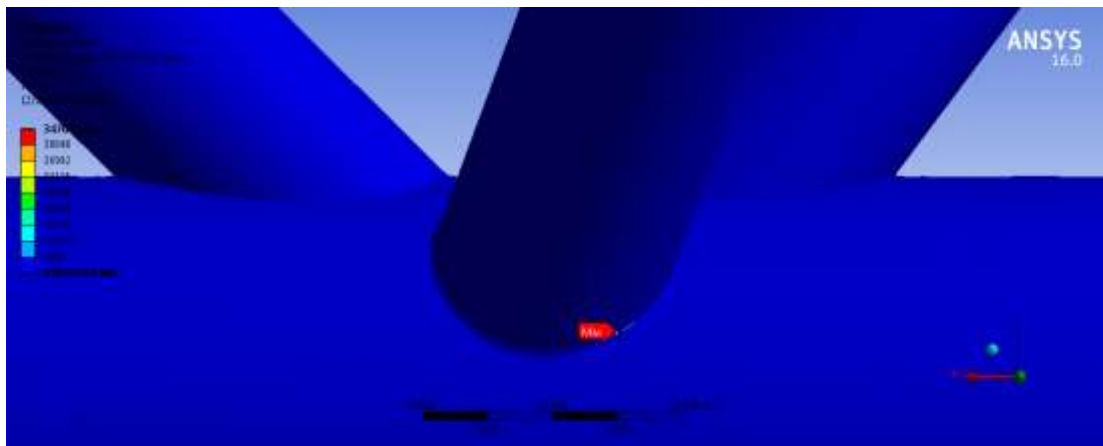
**Gambar D3.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

### *Crack Meshing*

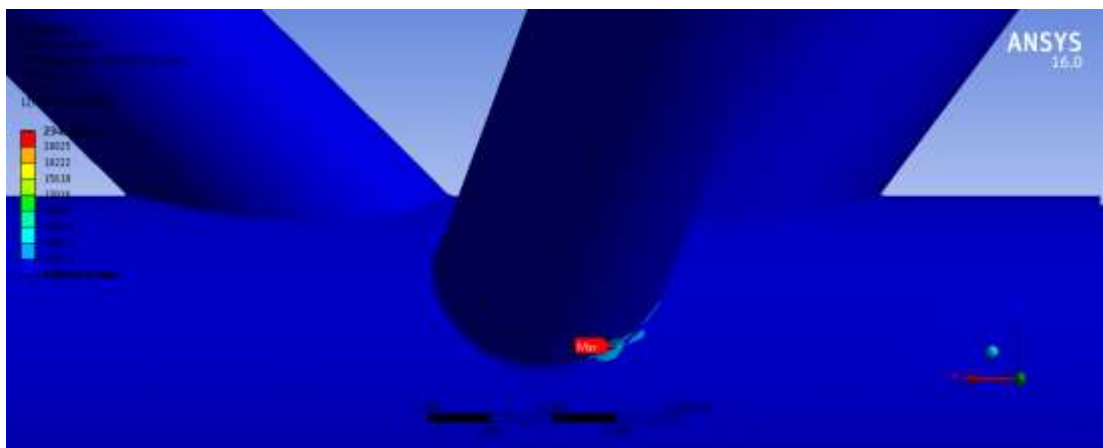


**Gambar D3.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

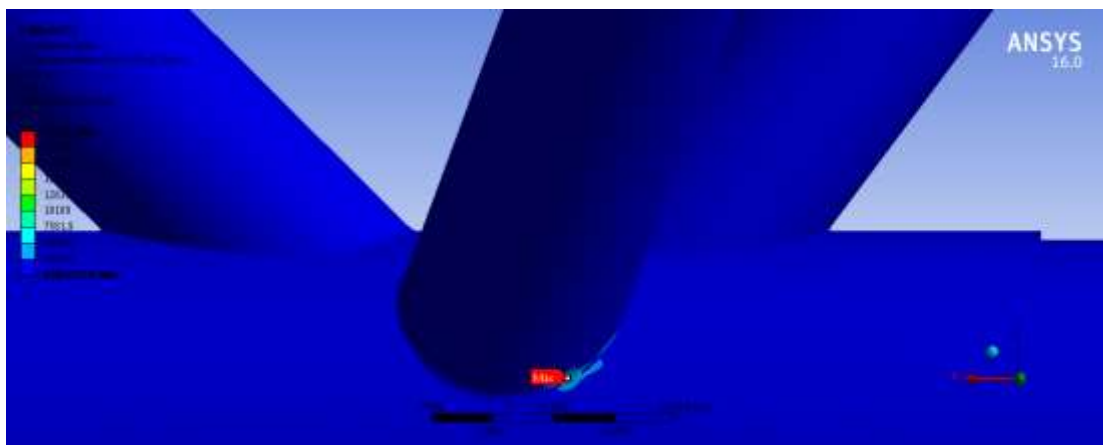
*Maximum von-Mises Stress*



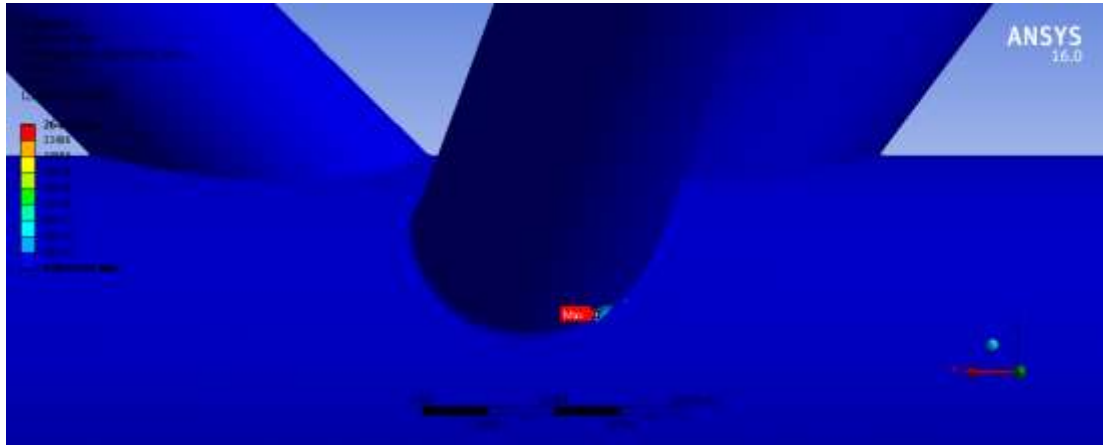
(a)



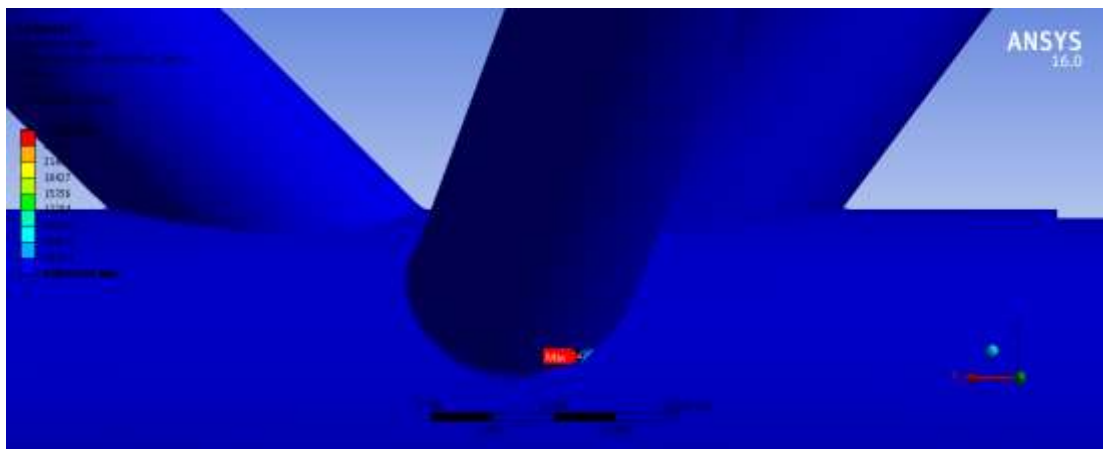
(b)



(c)



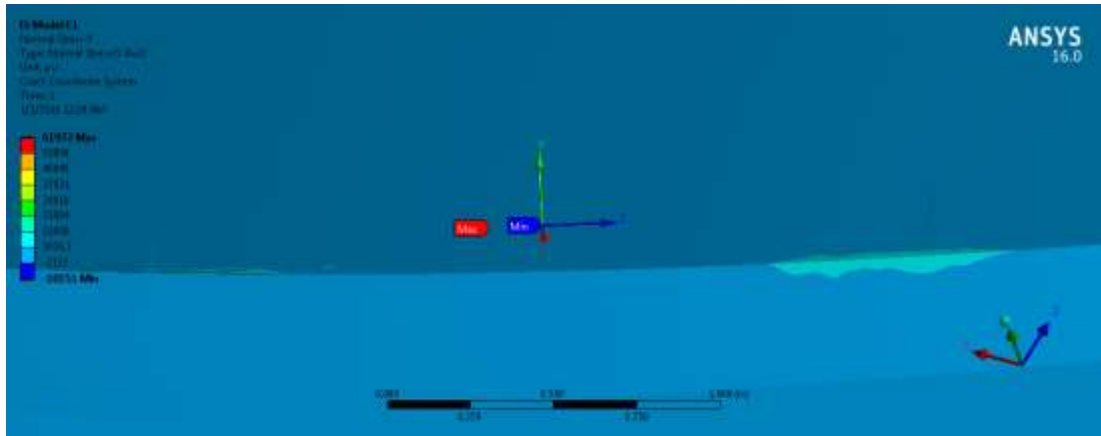
(d)



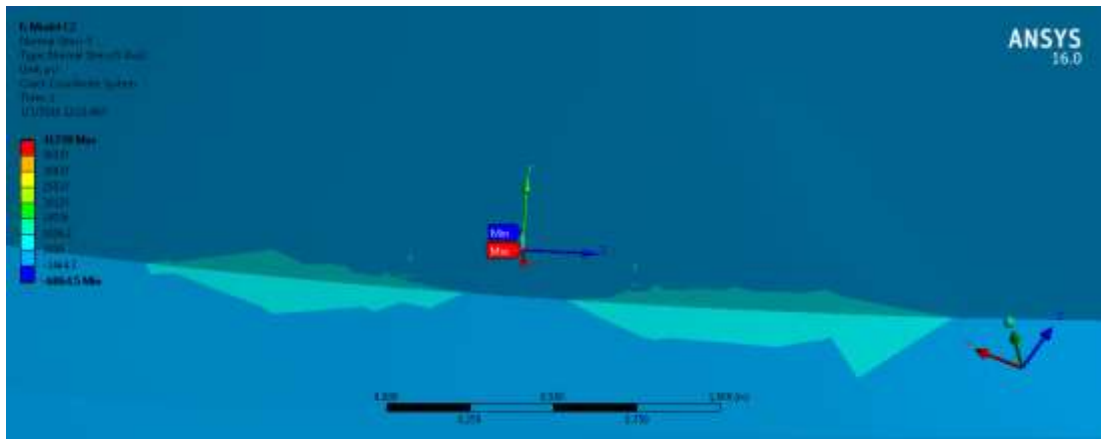
(e)

**Gambar D3.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

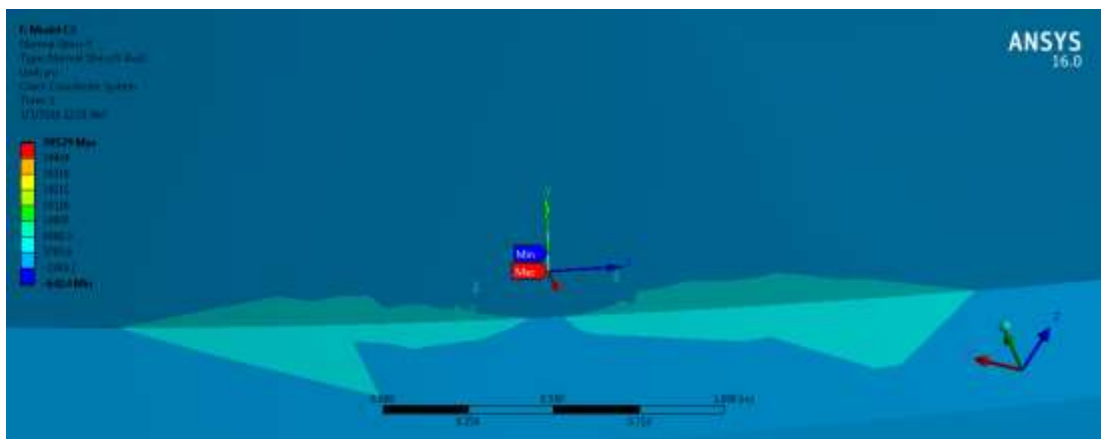
### Maximum Normal Stress



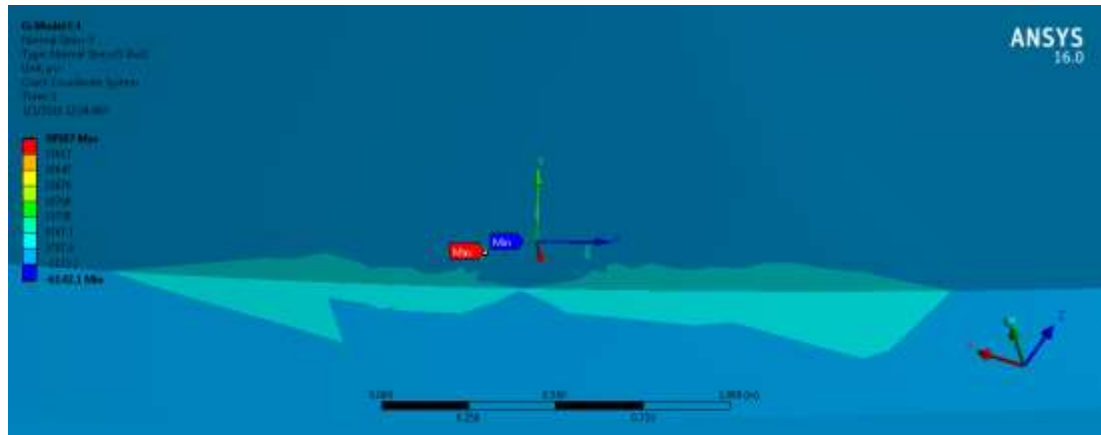
(a)



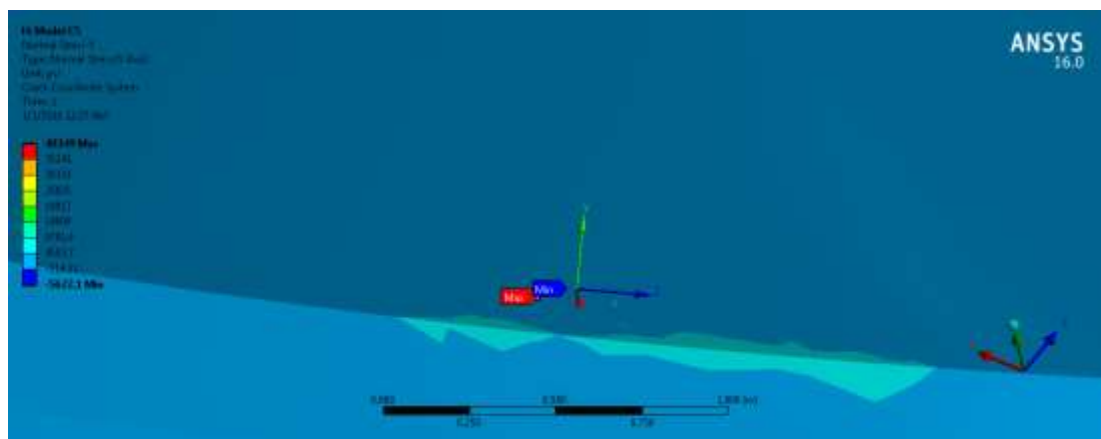
(b)



(c)



(d)

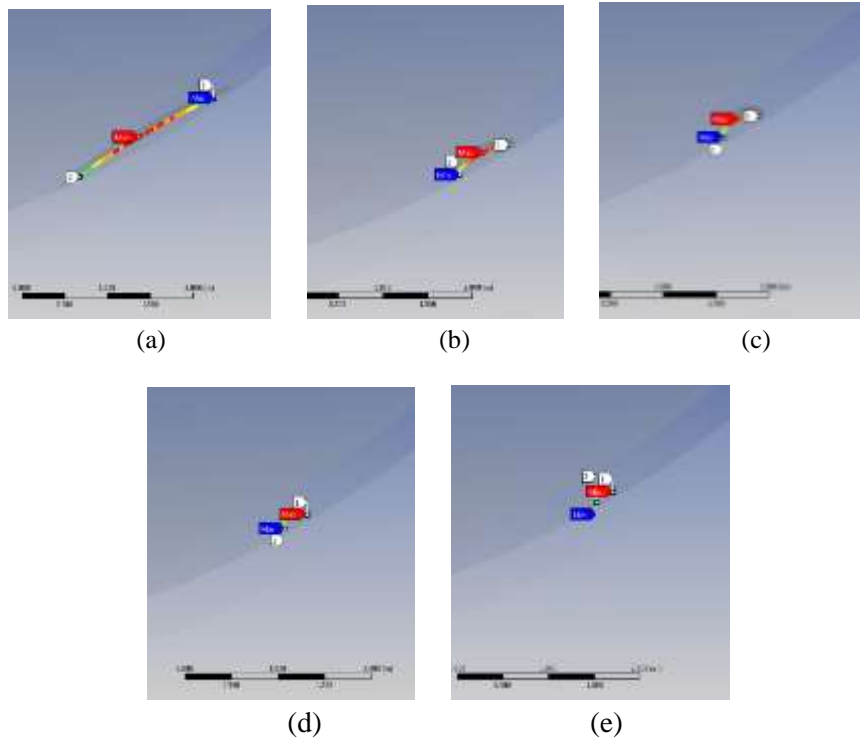


(e)

**Gambar D3.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5



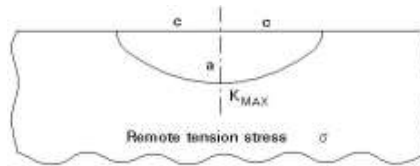
***Stress Intensity Factor (SIF)***



**Gambar D3.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack c* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

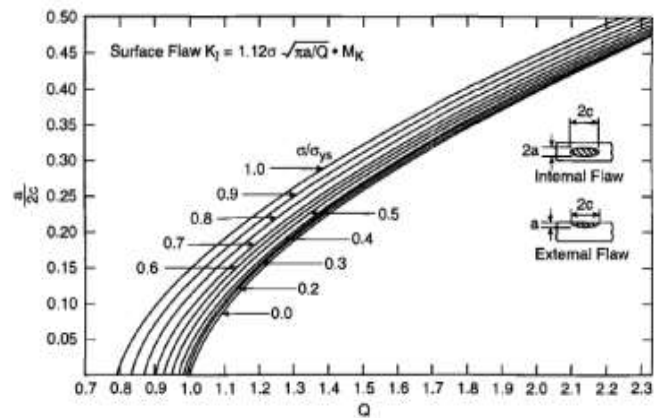
# **LAMPIRAN D.3.1**

## **TABEL PERHITUNGAN SIF**



**Gambar D3.6** Semi-elliptical Crack pada Plat

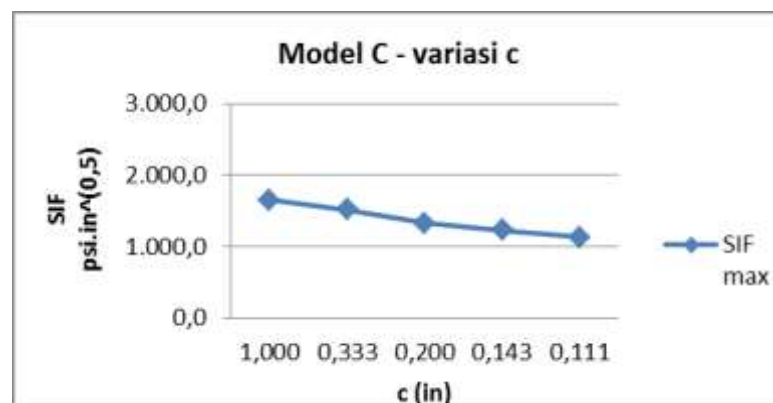
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar D3.7** Flaw Shape Parameter Q

Nominal stress Model C ( $\sigma$ ) = 2,561 psi

| Model | a/2c | a<br>(in) | c<br>(in) | Max Normal<br>Stress<br>(psi) | SIFmax<br>psi.in <sup>0,5</sup> | σ/σ <sub>ys</sub> | Q    | v (π a/Q) | SIFmax  | %<br>error |
|-------|------|-----------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|------|-----------|---------|------------|
| A1    | 0.05 | 0.100     | 1.000     | 61,972                        | 1,653                           | 0.05              | 1.03 | 0.55      | 1,583.7 | 4.19       |
| A2    | 0.15 | 0.100     | 0.333     | 41,738                        | 1,519                           | 0.05              | 1.23 | 0.51      | 1,449.2 | 4.61       |
| A3    | 0.25 | 0.100     | 0.200     | 39,529                        | 1,331                           | 0.05              | 1.48 | 0.46      | 1,321.2 | 0.75       |
| A4    | 0.35 | 0.100     | 0.143     | 38,587                        | 1,232                           | 0.05              | 1.82 | 0.42      | 1,191.4 | 3.30       |
| A5    | 0.45 | 0.100     | 0.111     | 40,349                        | 1,134                           | 0.05              | 2.25 | 0.37      | 1,071.5 | 5.48       |



**LAMPIRAN E**

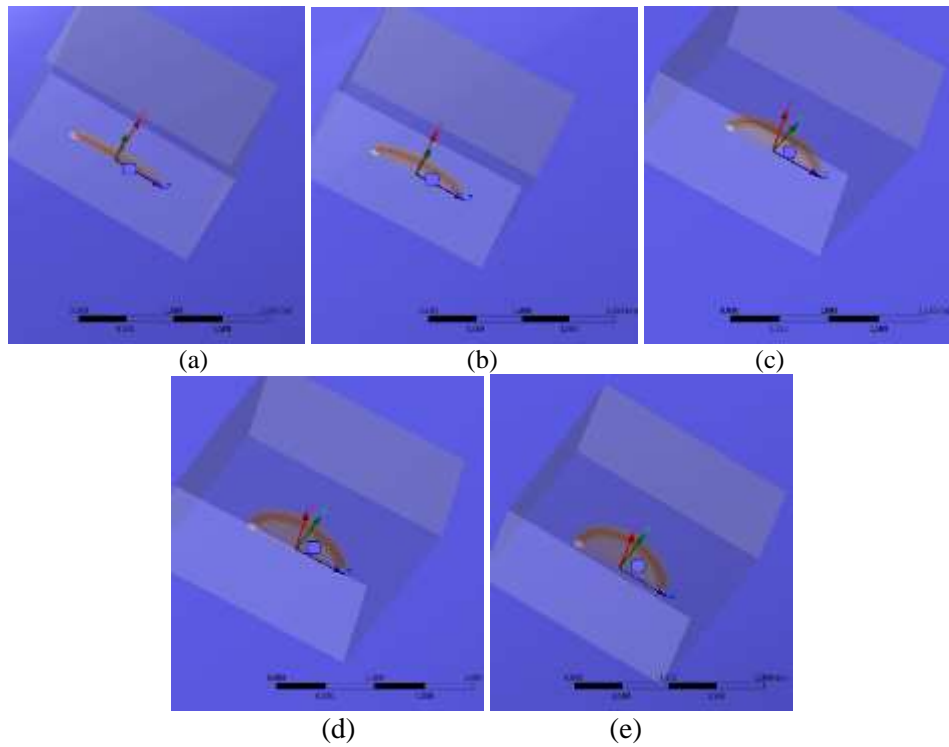
**HASIL PEMODELAN *CRACK***

**VARIASI  $\alpha$**

# **LAMPIRAN E.1**

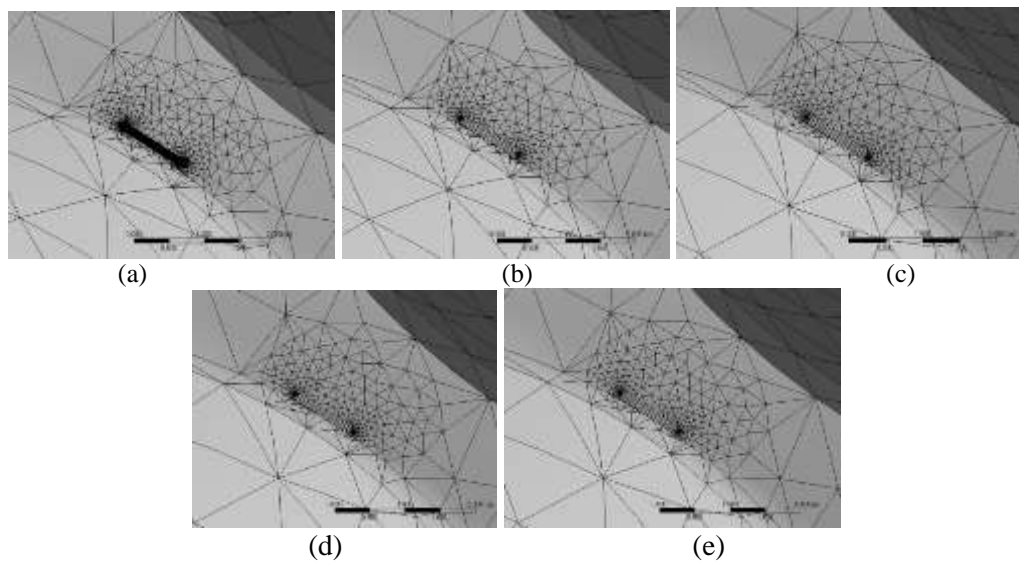
MODEL A

## Geometri Retak



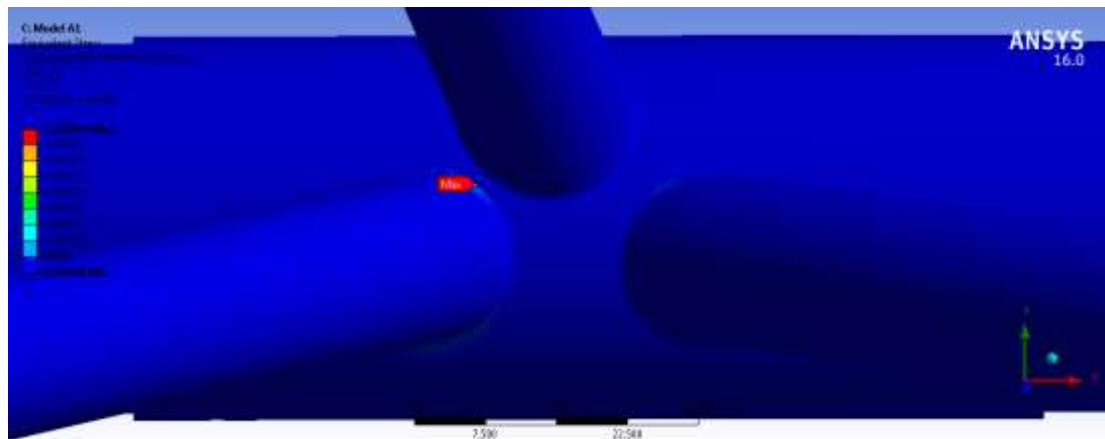
**Gambar E1.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

## *Crack Meshing*

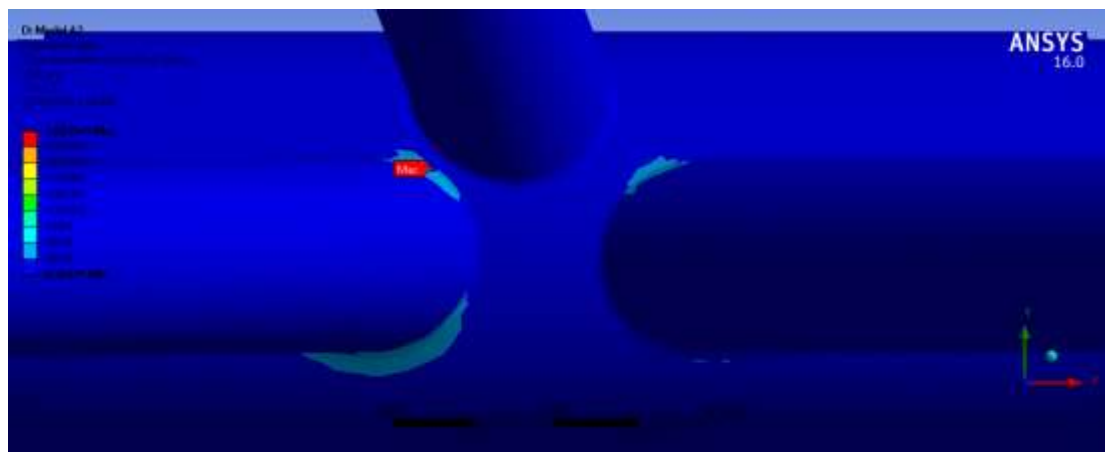


**Gambar E1.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

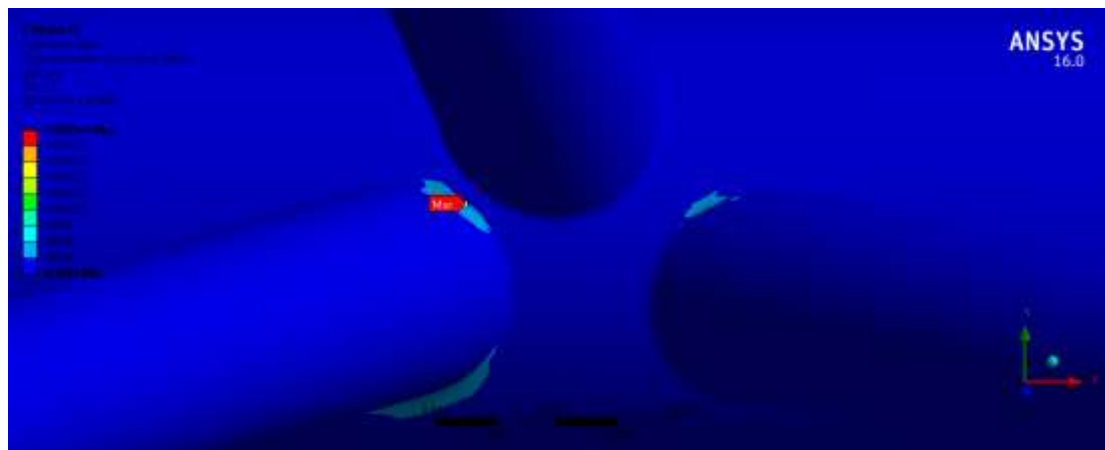
*Maximum von-Mises Stress*



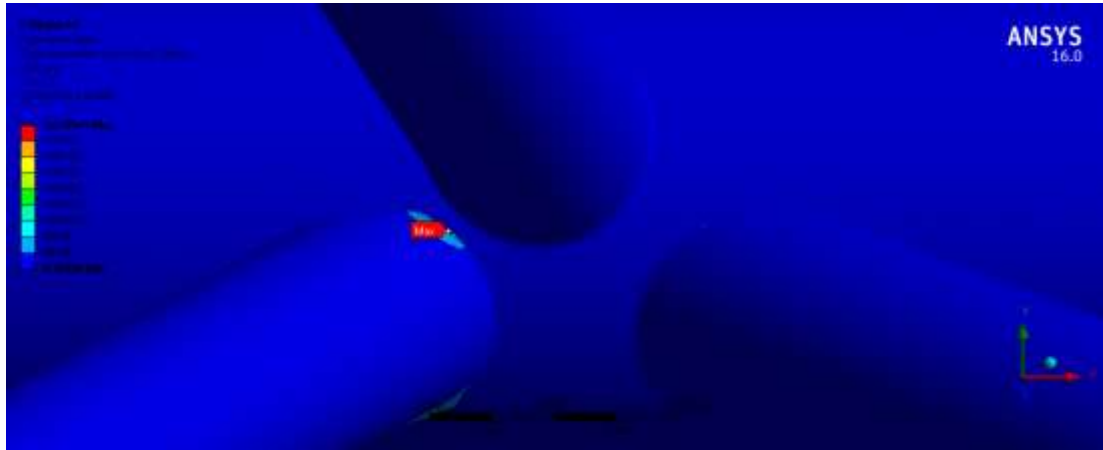
(a)



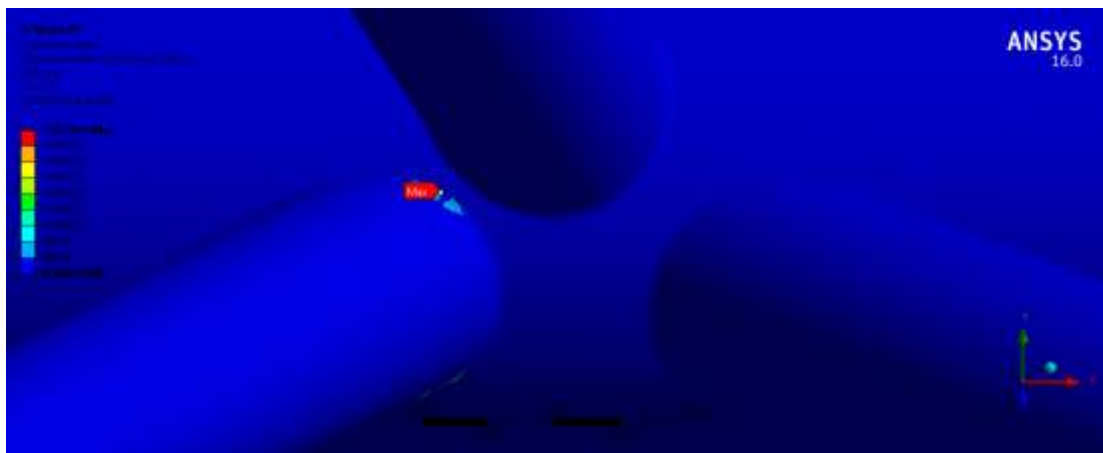
(b)



(c)



(d)

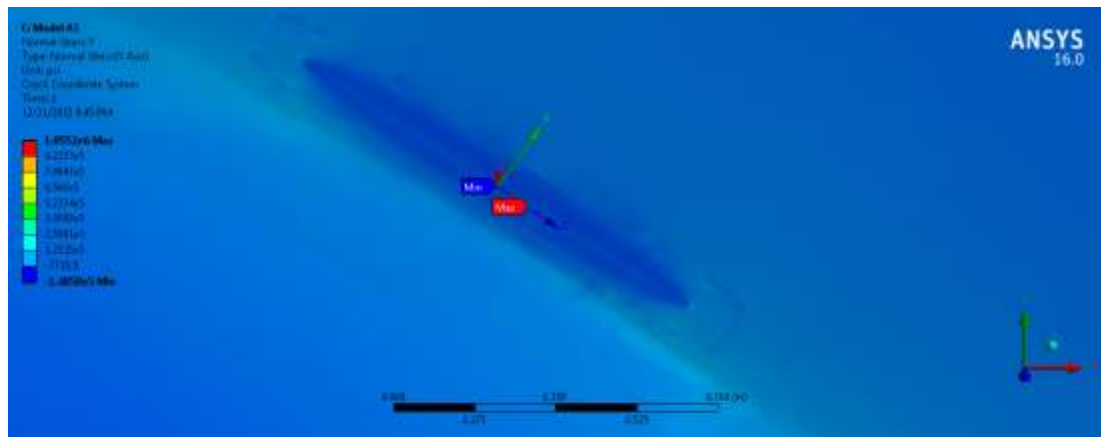


(e)

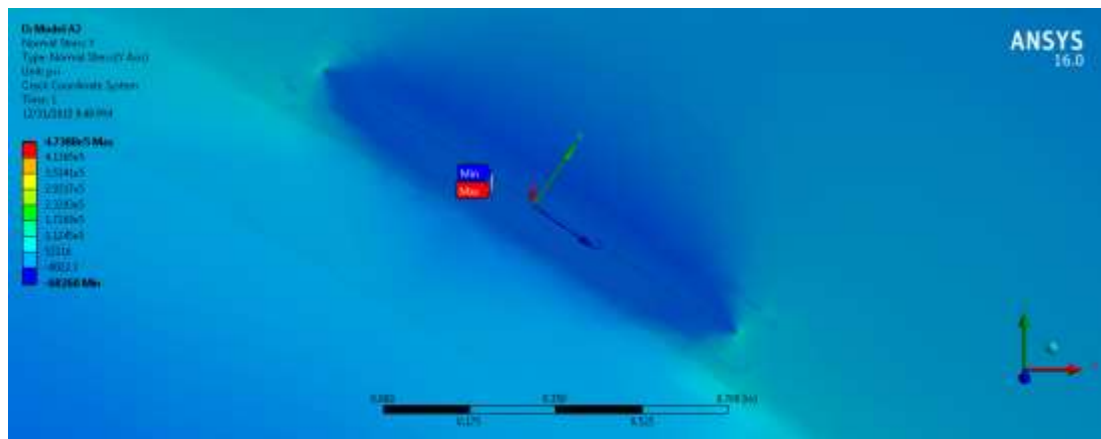
**Gambar E1.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5



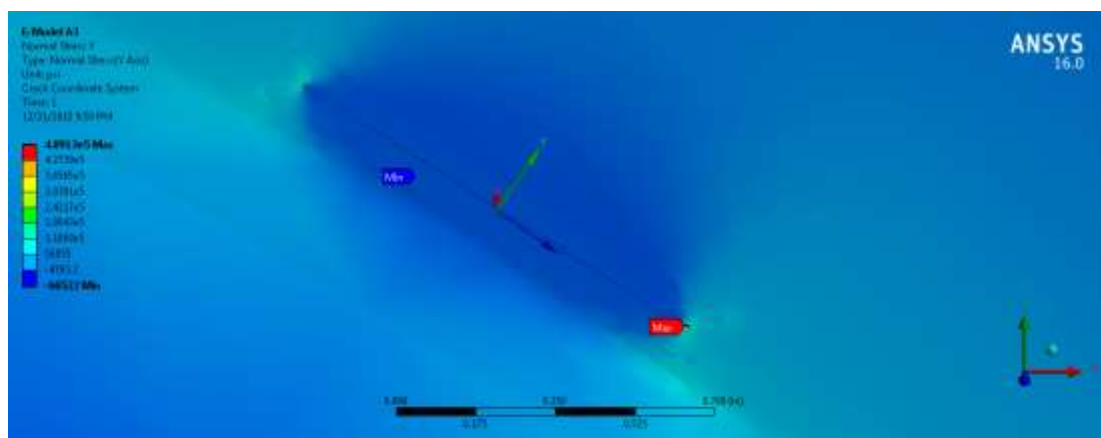
### Maximum Normal Stress



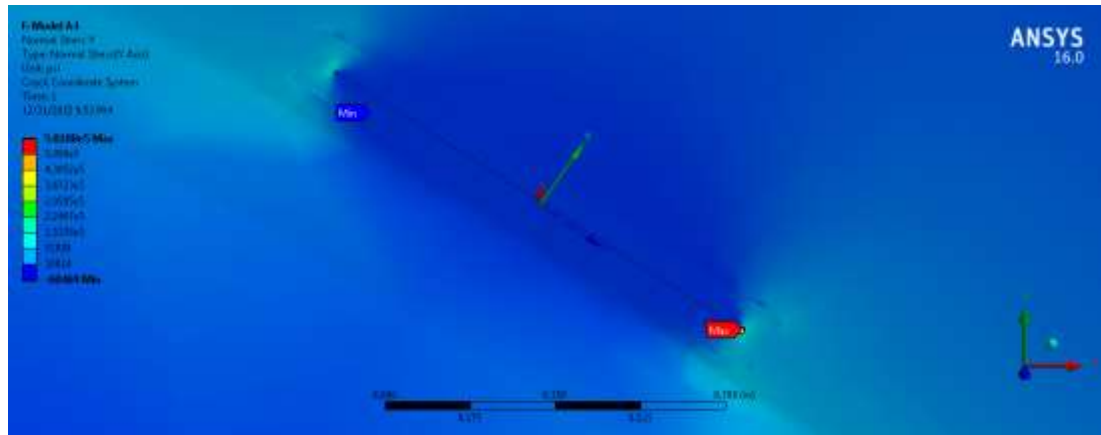
(a)



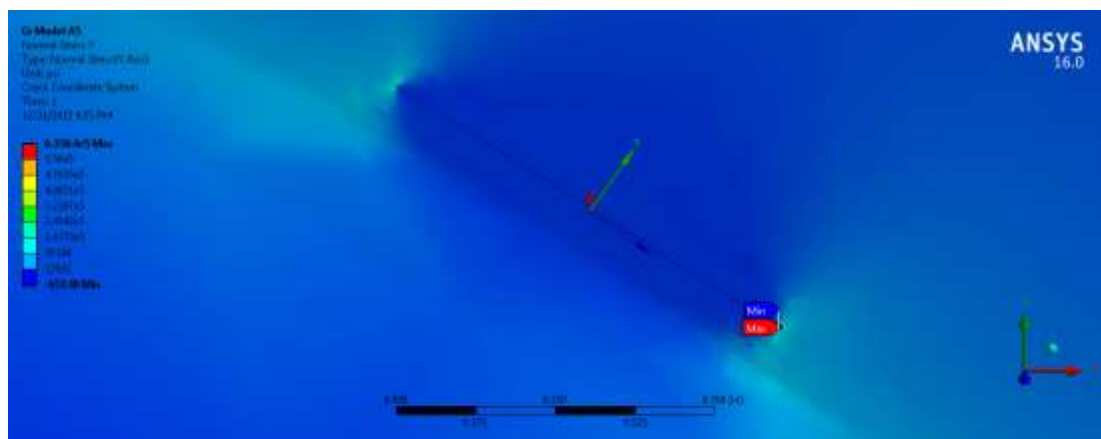
(b)



(c)



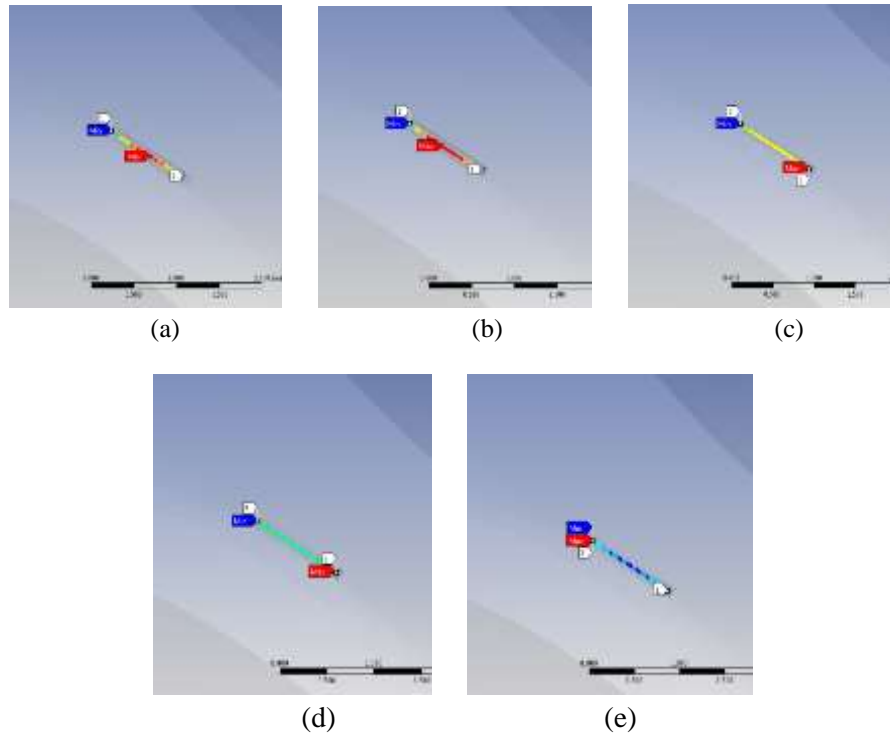
(d)



(e)

**Gambar E1.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

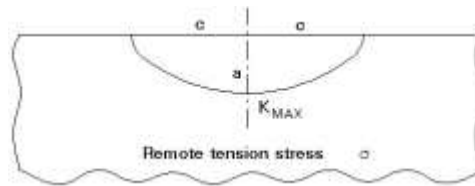
***Stress Intensity Factor (SIF)***



**Gambar E1.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* ; (a) Model A1 ; (b) Model A2 ; (c) Model A3 ; (d) Model A4 ; (e) Model A5

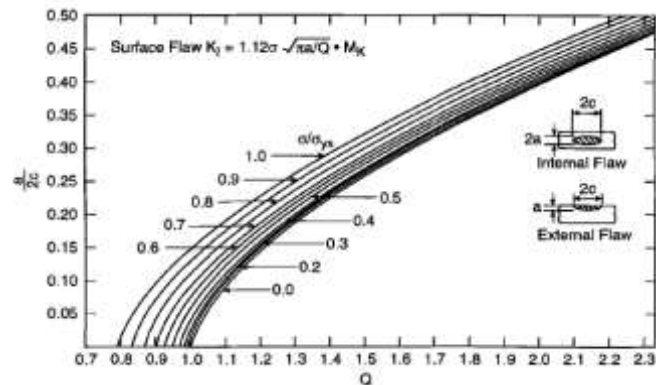
# **LAMPIRAN E.1.1**

TABEL PERHITUNGAN SIF



**Gambar E1.6** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

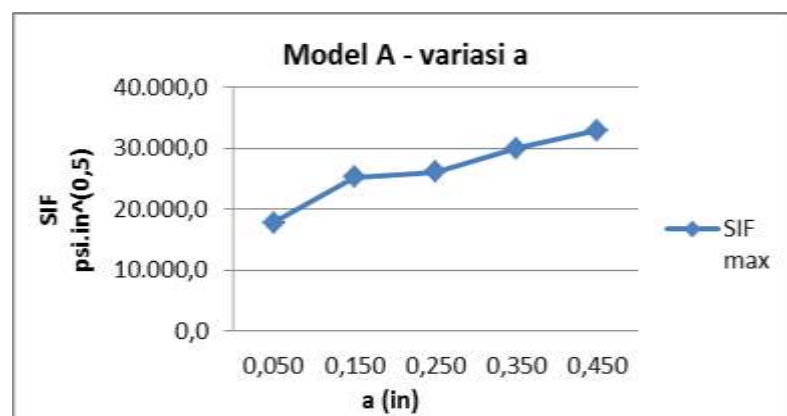
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar E1.7** *Flaw Shape Parameter Q*

Nominal stress Model A ( $\sigma$ ) = 34,179 psi

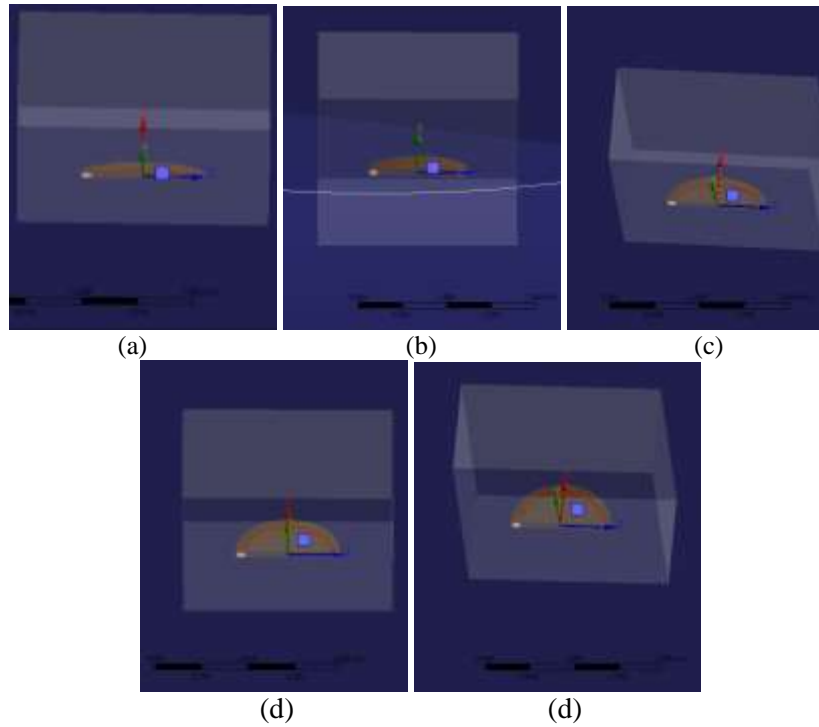
| Model | a/2c  | a<br>(in) | c<br>(in) | Max Normal<br>Stress<br>(psi) | SIFmax<br>psi.in <sup>^(0,5)</sup> | σ/σys | Q    | √ (π a/Q) | SIFmax   | %<br>error |
|-------|-------|-----------|-----------|-------------------------------|------------------------------------|-------|------|-----------|----------|------------|
| A1    | 0.050 | 0.050     | 0.500     | 1,055,200                     | 16,779                             | 0.68  | 0.90 | 0.42      | 15,988.4 | 4.71       |
| A2    | 0.150 | 0.150     | 0.500     | 473,880                       | 25,212                             | 0.68  | 1.09 | 0.66      | 25,163.7 | 0.19       |
| A3    | 0.250 | 0.250     | 0.500     | 489,130                       | 26,089                             | 0.68  | 1.37 | 0.76      | 28,976.9 | 9.97       |
| A4    | 0.350 | 0.350     | 0.500     | 581,080                       | 29,966                             | 0.68  | 1.86 | 0.77      | 29,452.2 | 1.80       |
| A5    | 0.450 | 0.450     | 0.500     | 633,640                       | 32,858                             | 0.68  | 2.23 | 0.81      | 30,471.1 | 7.26       |



# **LAMPIRAN E.2**

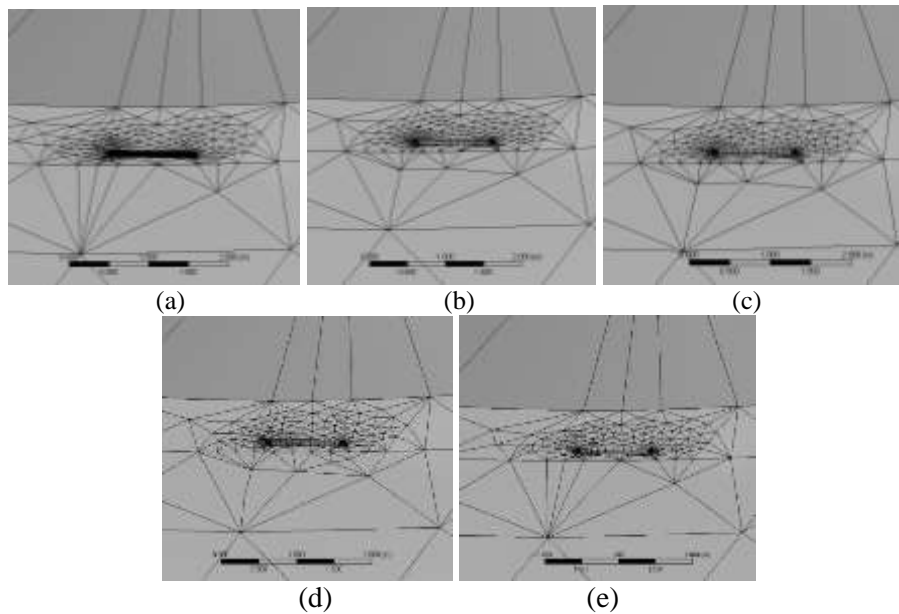
**MODEL B**

## Geometri Retak



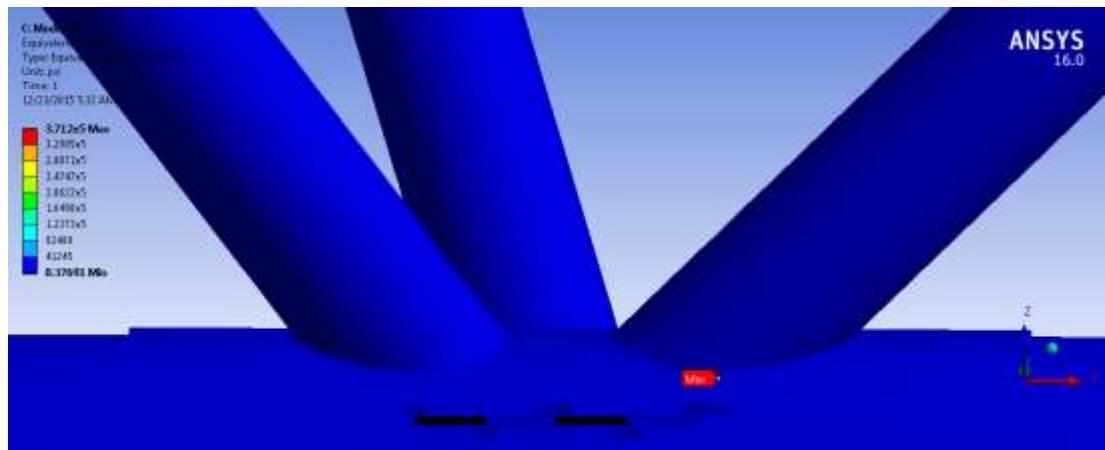
**Gambar E2.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

## *Crack Meshing*

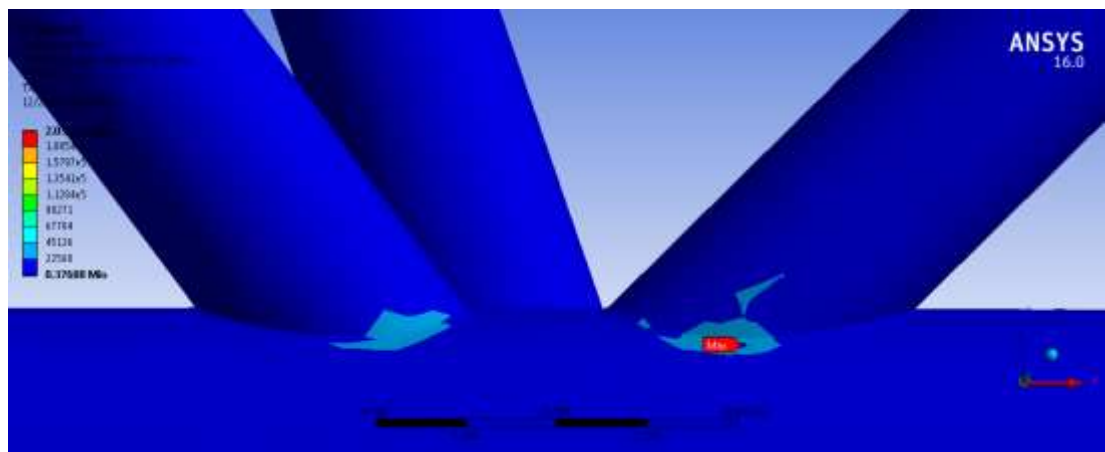


**Gambar E2.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

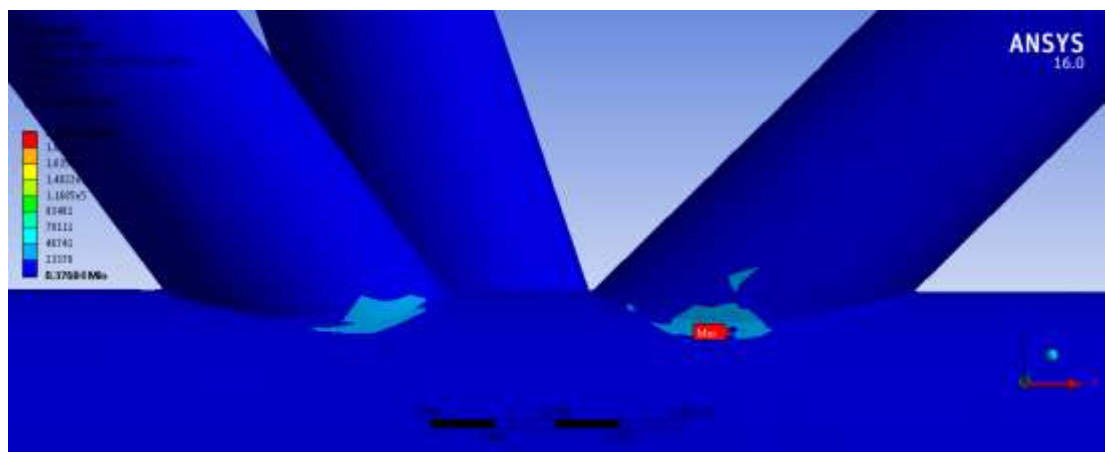
### *Maximum von-Mises Stress*



(a)

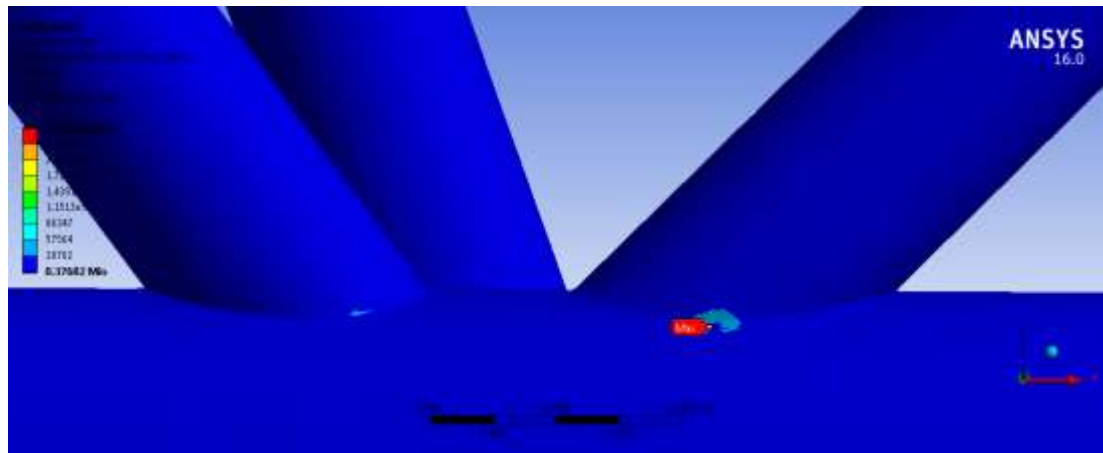


(b)

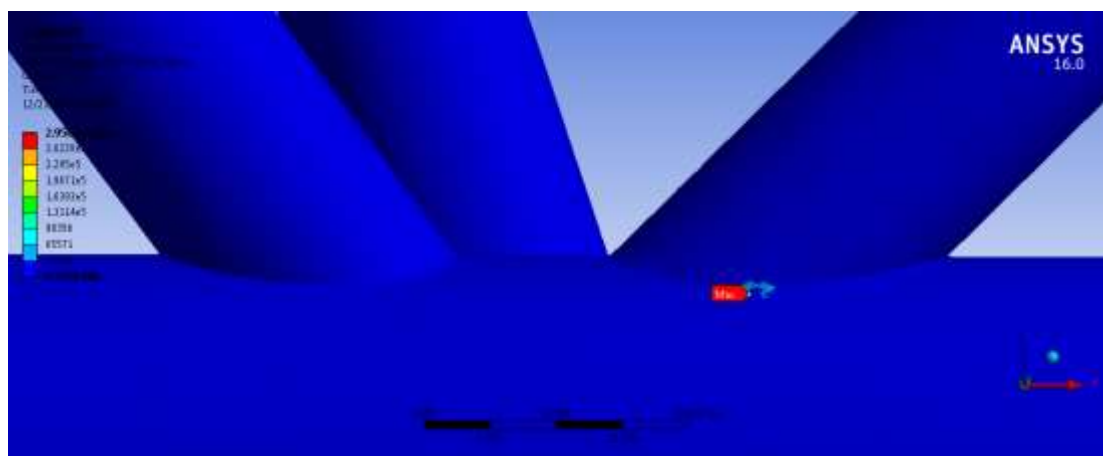


(c)





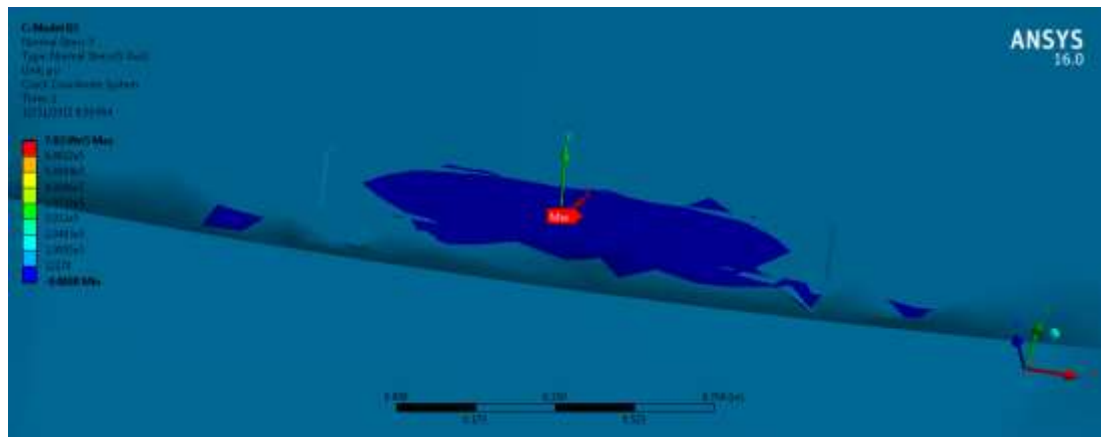
(d)



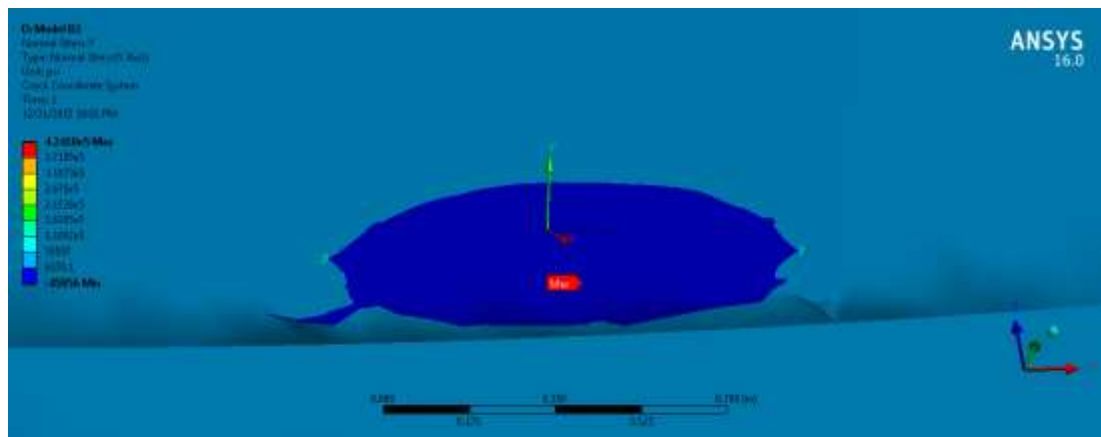
(e)

**Gambar E2.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

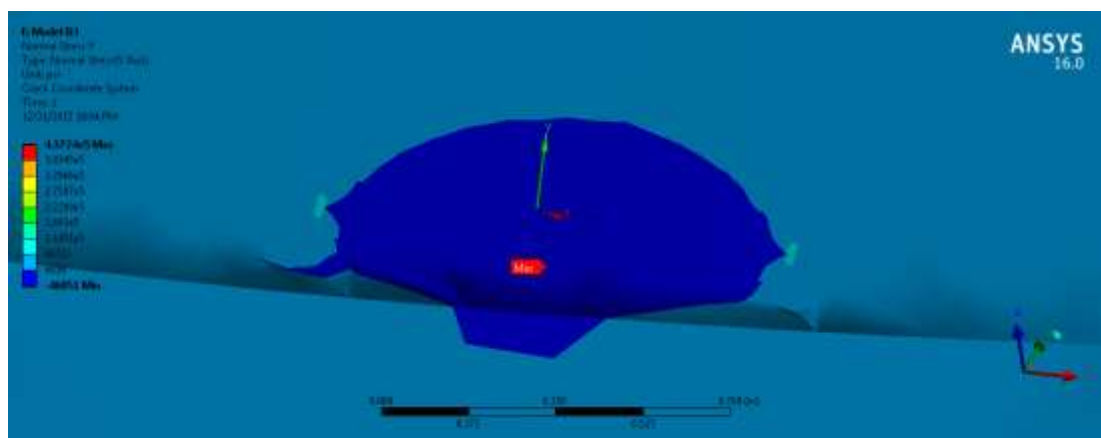
### Maximum Normal Stress



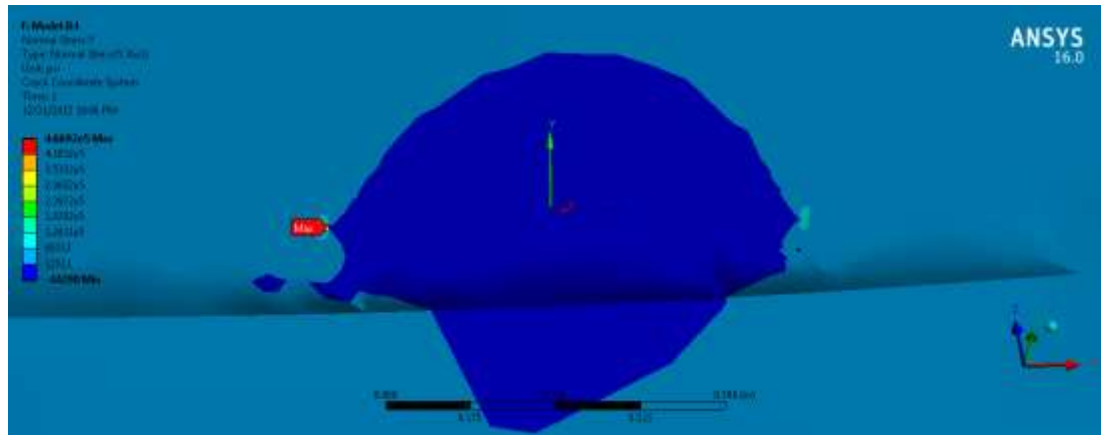
(a)



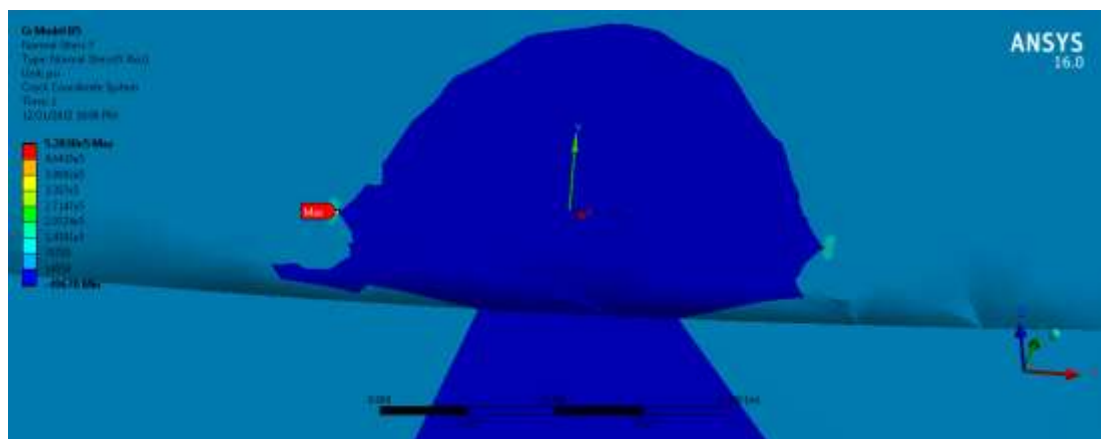
(b)



(c)



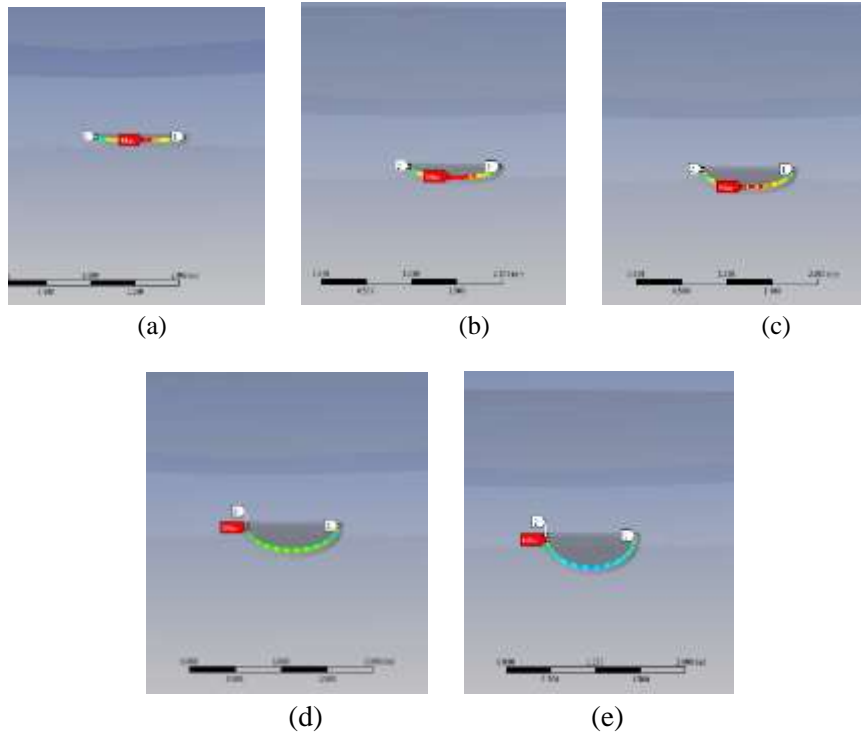
(d)



(e)

**Gambar E2.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

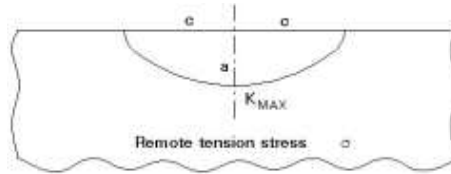
***Stress Intensity Factor (SIF)***



**Gambar E2.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5

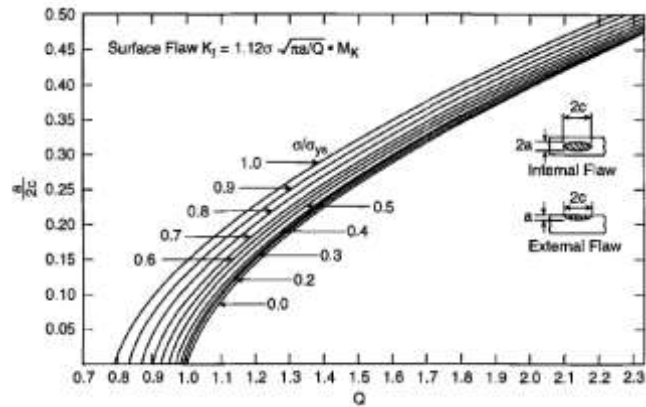
# **LAMPIRAN E.2.1**

## **TABEL PERHITUNGAN SIF**



**Gambar E2.6** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

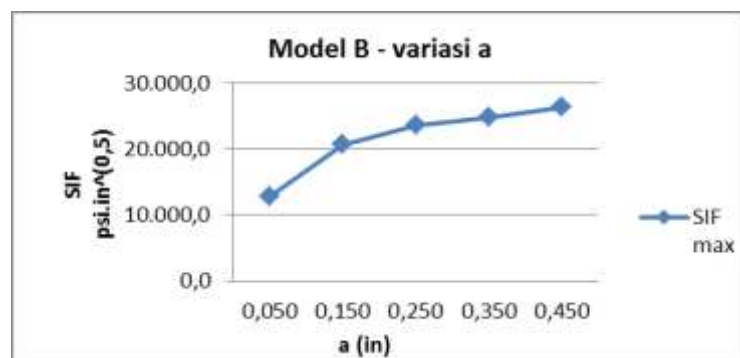
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar E2.7** *Flaw Shape Parameter Q*

Nominal stress Model B ( $\sigma$ ) = 30,282 psi

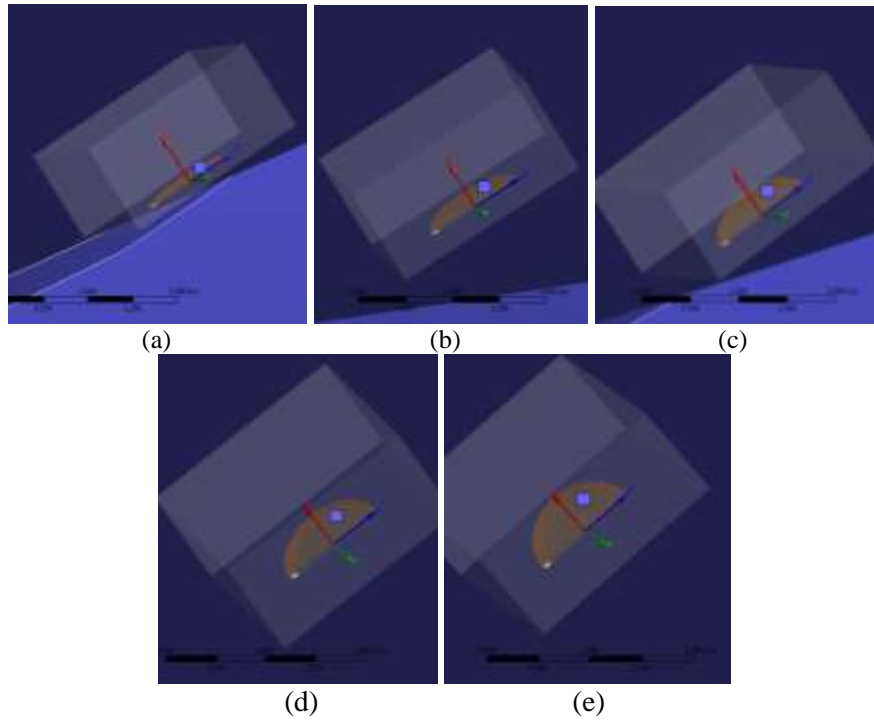
| Model | a/2c  | a<br>(in) | c<br>(in) | Max Normal<br>Stress<br>(psi) | SIFmax<br>psi.in <sup>0,5</sup> | σ/σ <sub>ys</sub> | Q    | √ (π a/Q) | SIFmax   | %<br>error |
|-------|-------|-----------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|------|-----------|----------|------------|
| A1    | 0.050 | 0.050     | 0.500     | 782,490                       | 12,765                          | 0.61              | 0.98 | 0.40      | 13,575.0 | 5.97       |
| A2    | 0.150 | 0.150     | 0.500     | 424,180                       | 20,705                          | 0.61              | 1.15 | 0.64      | 21,705.2 | 4.61       |
| A3    | 0.250 | 0.250     | 0.500     | 437,240                       | 23,552                          | 0.61              | 1.42 | 0.74      | 25,217.0 | 6.60       |
| A4    | 0.350 | 0.350     | 0.500     | 466,920                       | 24,777                          | 0.61              | 1.8  | 0.78      | 26,501.2 | 6.51       |
| A5    | 0.450 | 0.450     | 0.500     | 528,380                       | 26,331                          | 0.61              | 2.18 | 0.81      | 27,305.2 | 3.57       |



# **LAMPIRAN E.3**

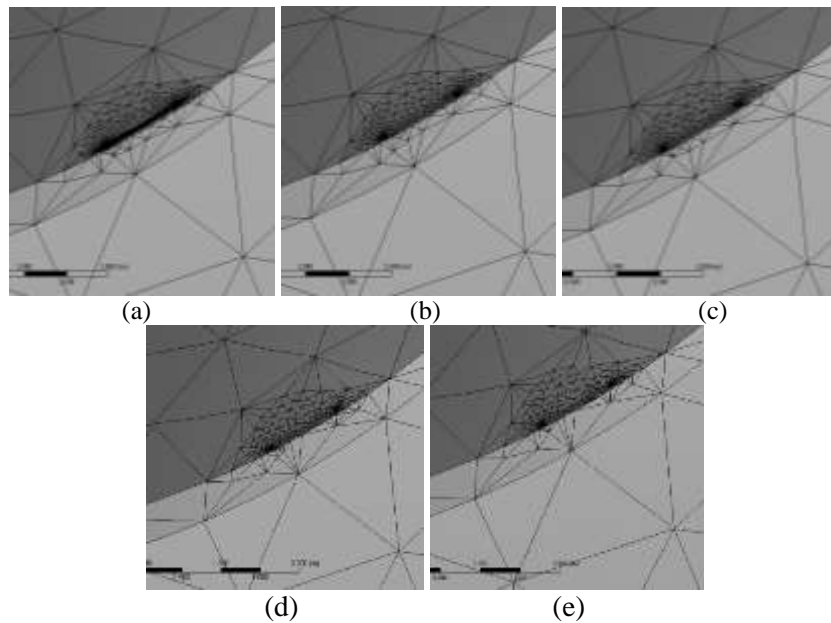
MODEL C

### Geometri Retak



**Gambar E3.1** Geometri *Crack* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

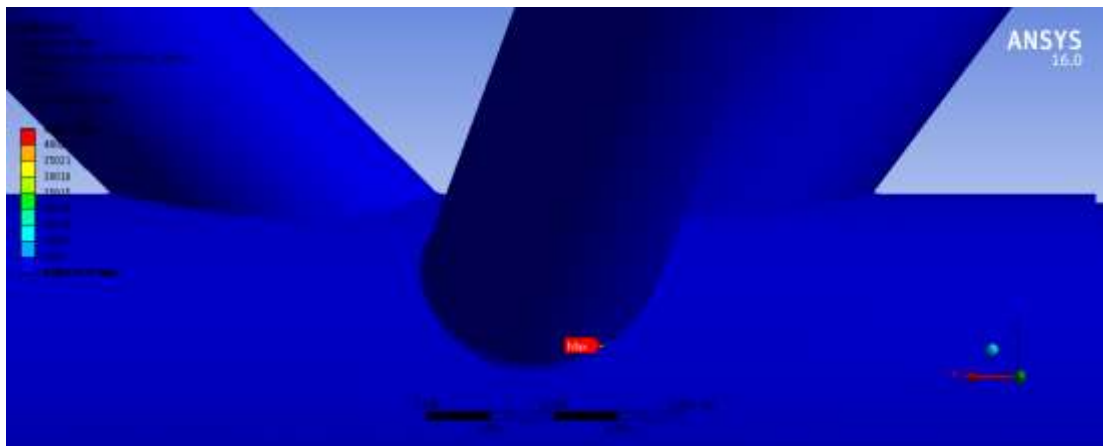
### *Crack Meshing*



**Gambar E3.2** *Crack Meshing* dengan Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* pada *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model B1 ; (b) Model B2 ; (c) Model B3 ; (d) Model B4 ; (e) Model B5



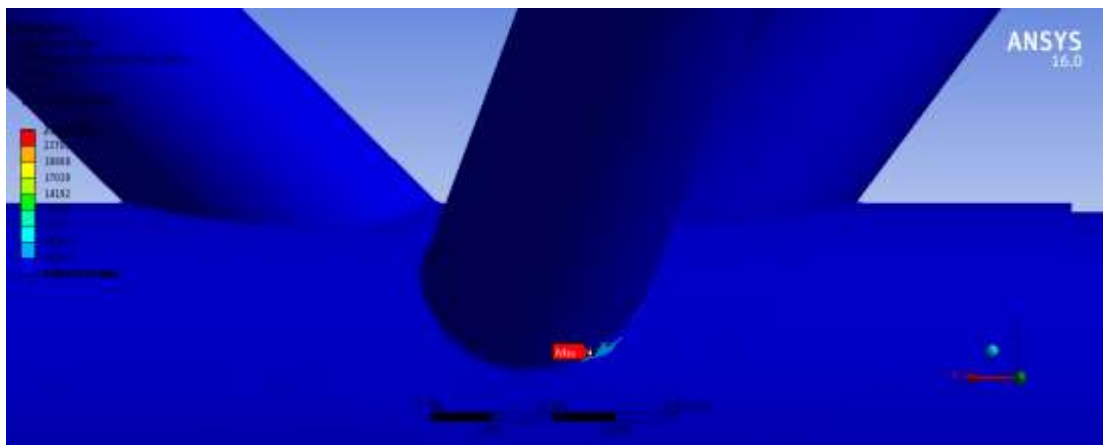
*Maximum von-Mises Stress*



(a)



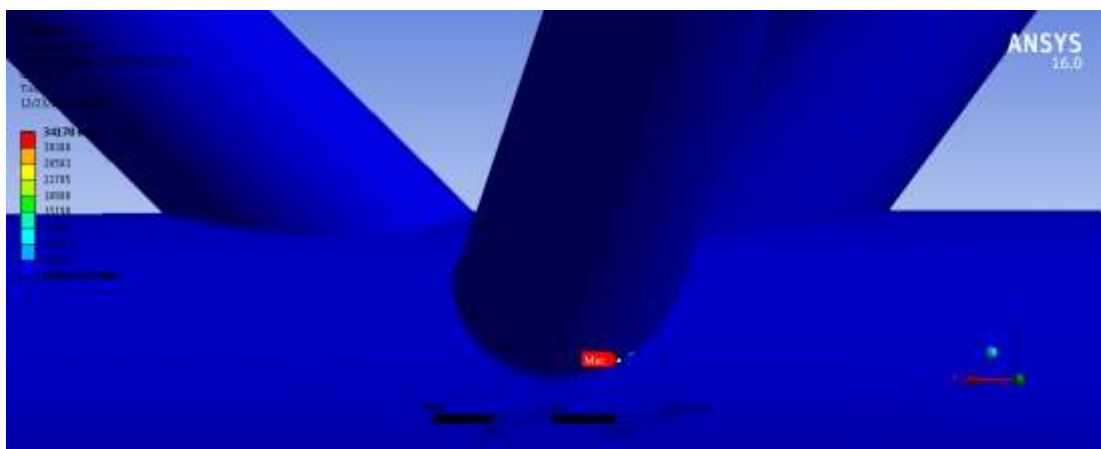
(b)



(c)



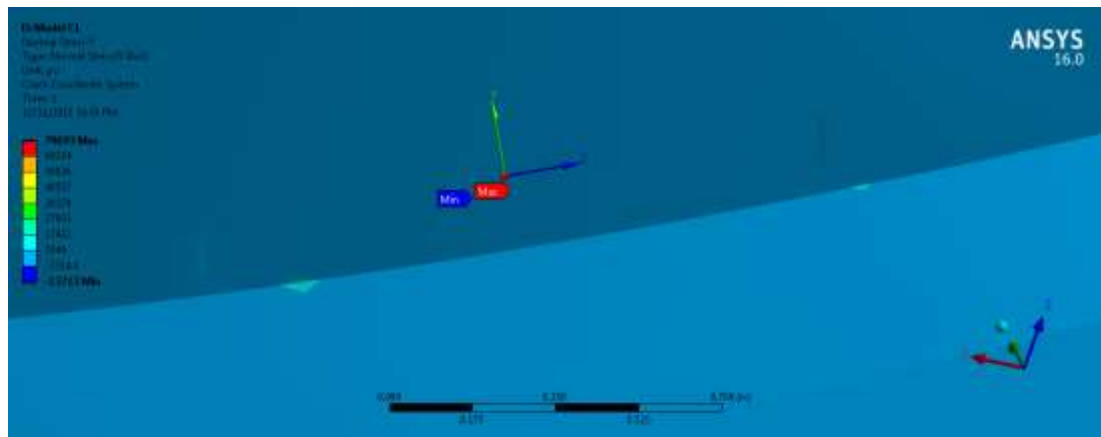
(d)



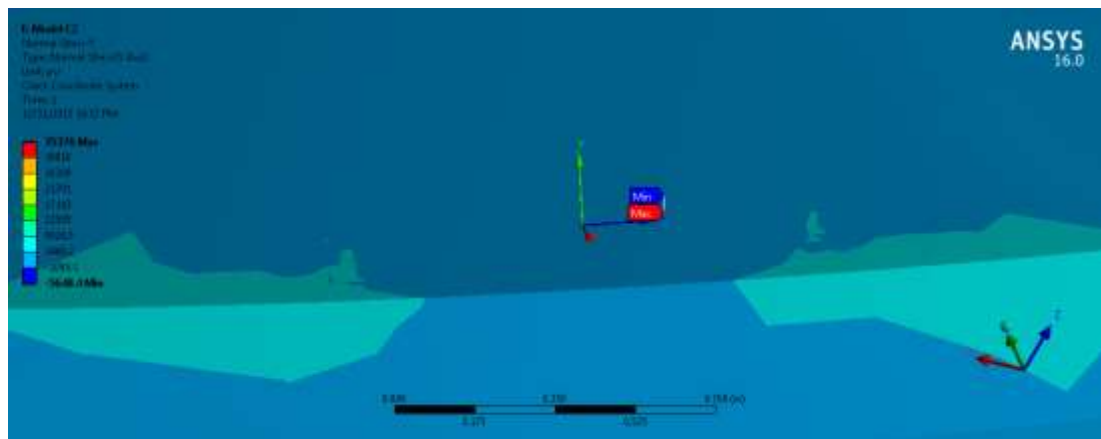
(e)

**Gambar E3.3** Distribusi Tegangan von Mises pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

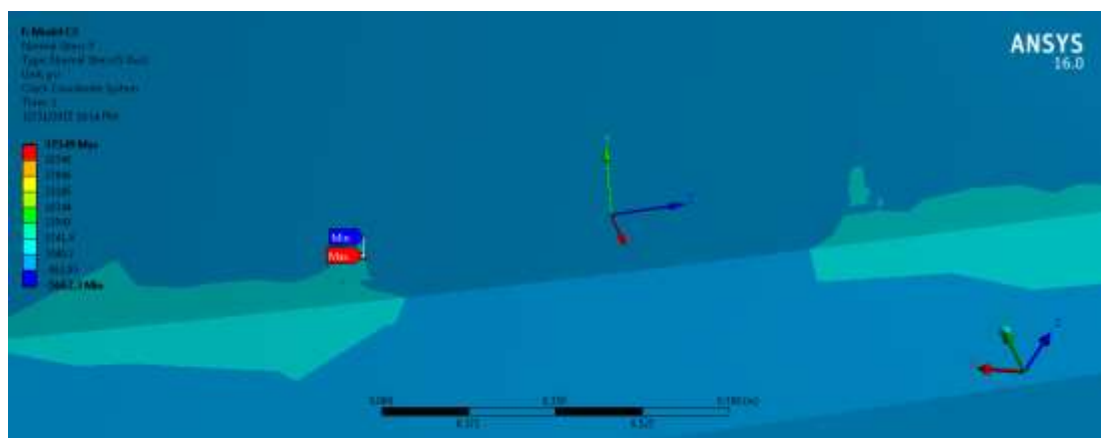
## Maximum Normal Stress



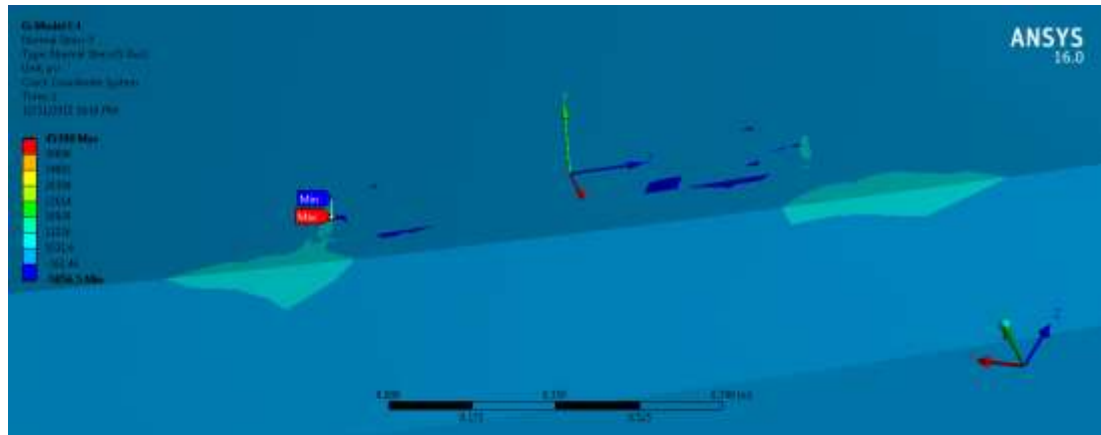
(a)



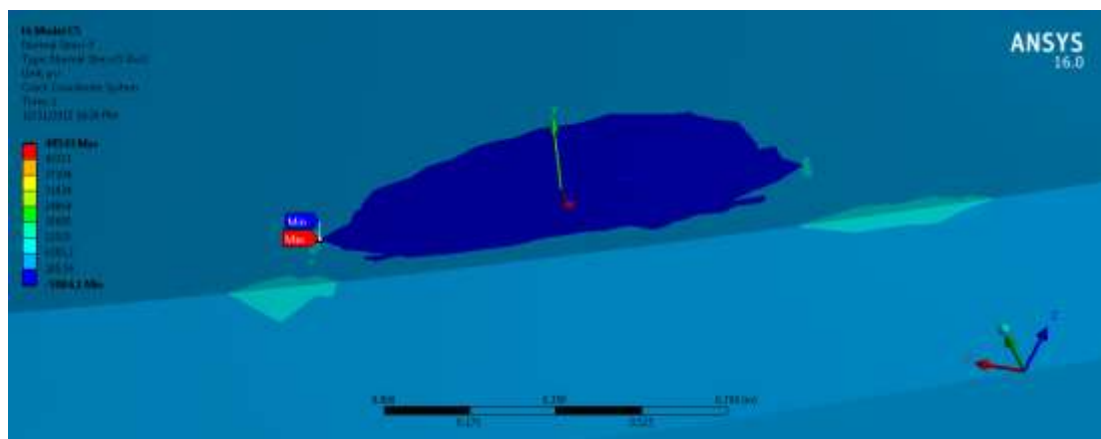
(b)



(c)



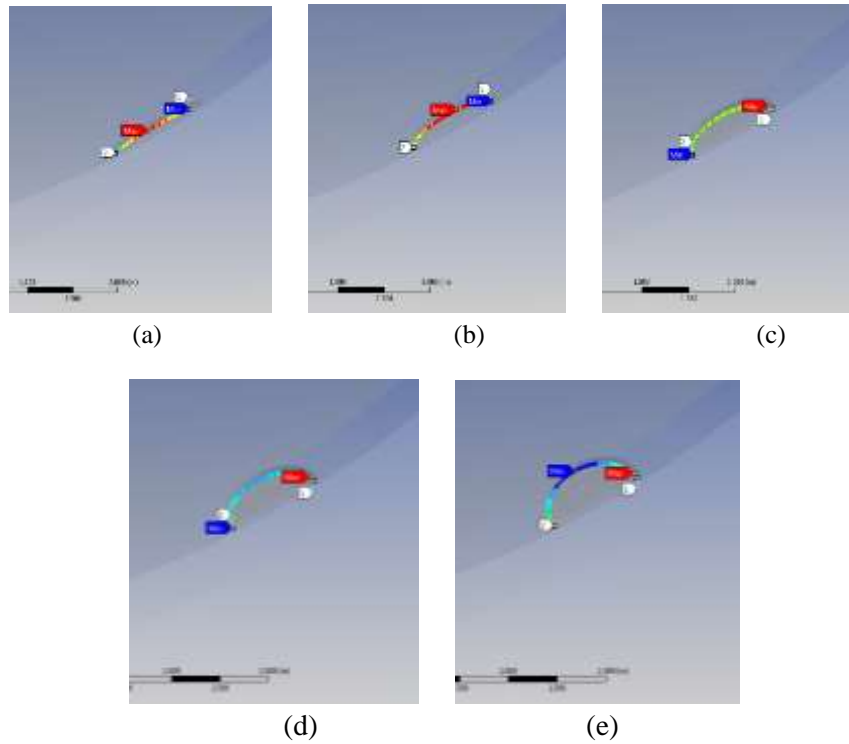
(d)



(e)

**Gambar E3.4** Distribusi Tegangan Normal pada Struktur *Multiplanar Tubular Joint* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

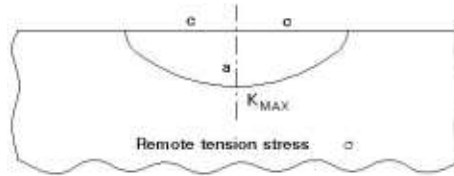
***Stress Intensity Factor (SIF)***



**Gambar E3.5** Distribusi SIF pada Variasi Pembebanan A dan Variasi *Crack a* ; (a) Model C1 ; (b) Model C2 ; (c) Model C3 ; (d) Model C4 ; (e) Model C5

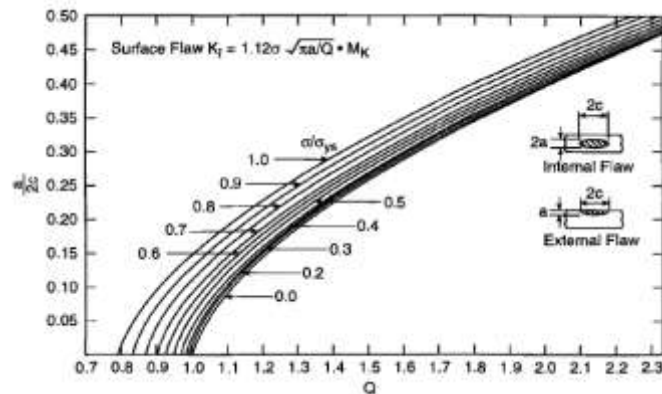
# **LAMPIRAN E.3.1**

## **TABEL PERHITUNGAN SIF**



**Gambar E3.6** *Semi-elliptical Crack pada Plat*

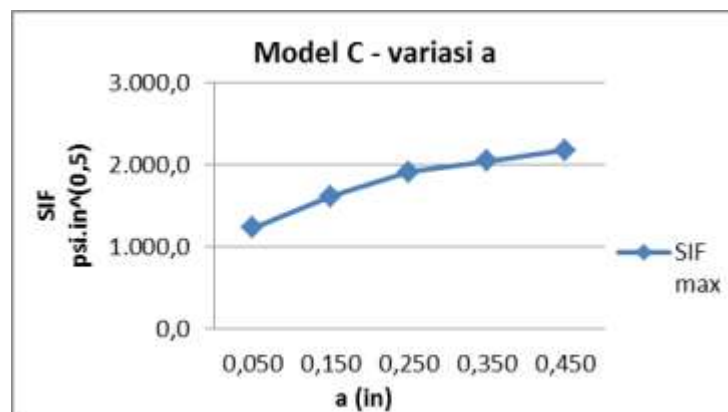
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$



**Gambar E3.7** *Flaw Shape Parameter Q*

Nominal stress Model C ( $\sigma$ ) = 2,561 psi

| Model | a/2c  | a     | c     | Max Normal Stress | SIFmax                   | $\sigma/\sigma_{ys}$ | Q    | $\sqrt{\pi a/Q}$ | SIFmax  | % error |
|-------|-------|-------|-------|-------------------|--------------------------|----------------------|------|------------------|---------|---------|
|       |       | (in)  | (in)  | (psi)             | psi.in <sup>^(0,5)</sup> |                      |      |                  |         |         |
| A1    | 0.050 | 0.050 | 0.500 | 79,693            | 1,236                    | 0.05                 | 1.03 | 0.39             | 1,119.8 | 9.39    |
| A2    | 0.150 | 0.150 | 0.500 | 35,376            | 1,618                    | 0.05                 | 1.23 | 0.62             | 1,774.9 | 8.82    |
| A3    | 0.250 | 0.250 | 0.500 | 37,549            | 1,912                    | 0.05                 | 1.48 | 0.73             | 2,089.0 | 8.47    |
| A4    | 0.350 | 0.350 | 0.500 | 45,390            | 2,043                    | 0.05                 | 1.82 | 0.78             | 2,228.9 | 8.34    |
| A5    | 0.450 | 0.450 | 0.500 | 49,543            | 2,177                    | 0.05                 | 2.25 | 0.79             | 2,273.0 | 4.21    |



# **LAMPIRAN F**

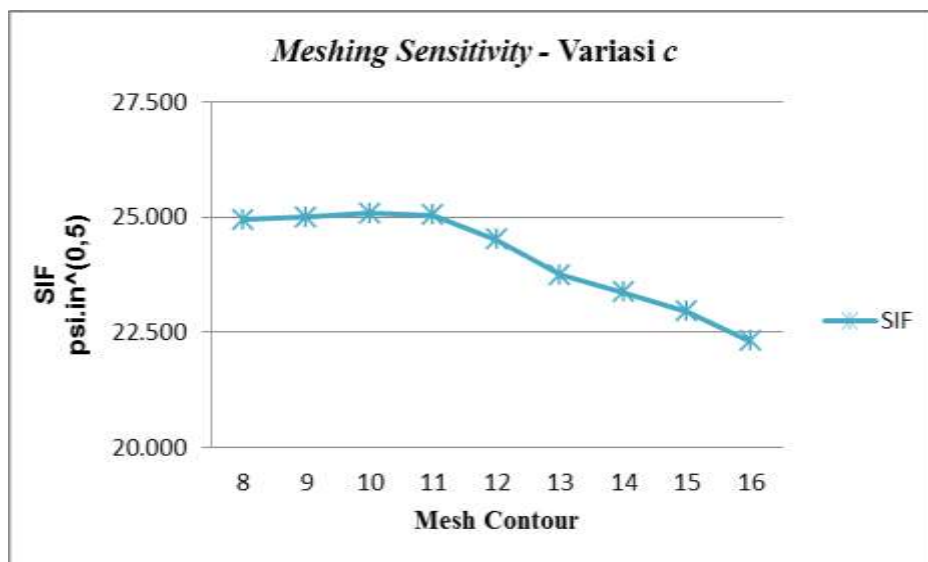
## ***MESH SENSITIVITY***



### Variasi Crack $c$

**Tabel F.1** Hasil *Meshing* Setiap *Mesh Contour* – Variasi Crack  $c$

| <i>Mesh Contour</i> | SIF<br>$\text{psi.in}^{(0,5)}$ |
|---------------------|--------------------------------|
| 8                   | 24,946                         |
| 9                   | 24,992                         |
| 10                  | 25,077                         |
| 11                  | 25,050                         |
| 12                  | 24,517                         |
| 13                  | 23,742                         |
| 14                  | 23,364                         |
| 15                  | 22,948                         |
| 16                  | 22,299                         |

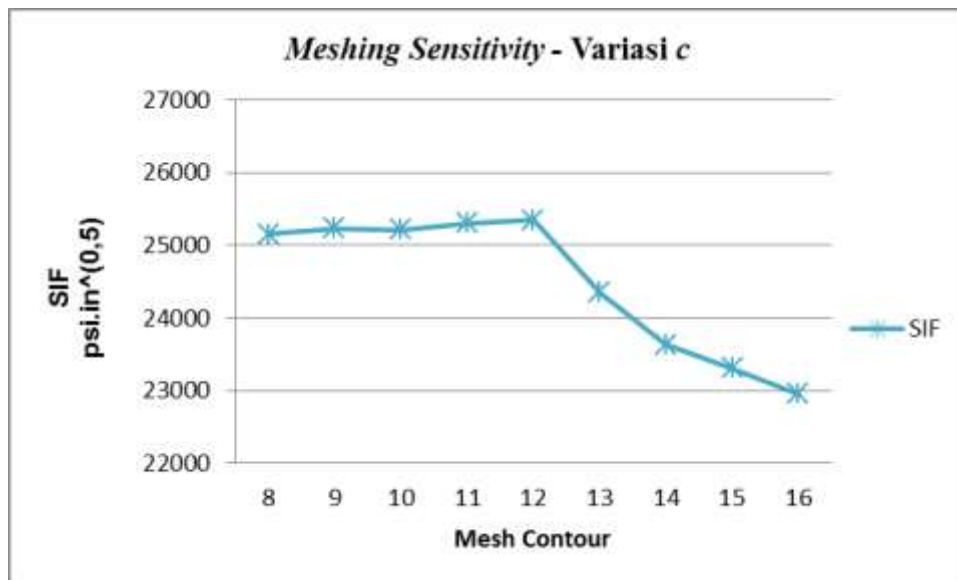


**Gambar F.1** Grafik Sensitivitas *Meshing* Terhadap Nilai SIF – Variasi Crack  $c$

## Variasi *Crack a*

**Tabel F.2** Hasil *Meshing* Setiap *Mesh Contour* – Variasi *Crack a*

| <i>Mesh Contour</i> | SIF<br>$\text{psi.in}^{(0,5)}$ |
|---------------------|--------------------------------|
| 8                   | 25,150                         |
| 9                   | 25,232                         |
| 10                  | 25,212                         |
| 11                  | 25,308                         |
| 12                  | 24,353                         |
| 13                  | 24,353                         |
| 14                  | 23,640                         |
| 15                  | 23,308                         |
| 16                  | 22,958                         |



**Gambar F.2** Grafik Sensitivitas *Meshing* Terhadap Nilai SIF – Variasi *Crack a*

## BIODATA PENULIS



Arvina Puspaningtyas dilahirkan di Surabaya pada tanggal 21 Mei 1993. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Hang Tuah 3 Surabaya, SMP Negeri 6 Surabaya dan SMA Negeri 4 Surabaya. Semasa sekolah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan akademis dan *kegiatan* non-akademis, serta ekstrakurikuler seperti seni tari, *marching band* dan pecinta alam. Setelah lulus pendidikan menengah pada tahun 2011, penulis melanjutkan studinya ke jenjang sarjana di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui SNMPTN. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis tergabung dalam Staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMATEKLA FTK ITS periode 2012/2013 dan Anggota Unit Kegiatan Mahasiswa Olah Raga Air ITS sejak tahun 2012. Penulis juga terdaftar sebagai pengurus Laboratorium Komputasi dan Pemodelan Numerik Teknik Kelautan periode 2013/2014 hingga periode 2015/2016. Dalam kegiatan kepanitiaan, salah satunya penulis pernah menjabat sebagai Bendahara Umum Ocean Engineering Exhibition and Art Competition (OCEANO) 2013. Penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. ZEE Indonesia pada Juli-September 2014 sebagai *Structure Engineer*. Penulis menyelesaikan pendidikan jenjang sarjana dengan menulis Tugas Akhir mengenai struktur bangunan lepas pantai yang berjudul “Studi Parametrik *Stress Intensity Factor* (SIF) pada *Multiplanar Tubular Joint* Berbasis *Fracture Mechanics*”.